Badan Geologi - Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
ISSN: 2088-7906

VOL. 1 NO. 3 SEPTEMBER 2011

GEOMAGZ

MAJALAH GEOLOGI POPULER

Gunung Anak Krakatau

Profil

Prof. Dr. R.P. Koesoemadinata

Bapak Geologi Migas Indonesia

Esei Foto

Antara Maros dan Soppeng, Fenomena Fosil Gajah Sulawesi

ISSN: 2088-7906

VOL. 1 N0. 3 SEPTEMBER 2011

ARTIKEL

RESENSI BUKU 70

PROFIL 74

GEOTREK 84

ESEI FOTO 92

Sekretariat Redaksi: Badan Geologi, Gedung II Lt. 2 Pusat Sumber Daya Air Tanah dan Geologi Lingkungan, Jl. Diponegoro No. 57 Bandung Telp. 022-72277393 e-mail: geomagz@bgl.esdm.go.id

Foto Sampul
Letusan Gunung Anak Krakatau tahun 2008
Foto: Anton Sigit Tripambudi (Kepala Pos Pengamatan Gunung Anak Krakatau-Pasauran, Banten)

Editorial

KRAKATAU. Demikian nama gunung api kondang itu. Ia tumbuh di genting laut yang menghubungkan Pulau Jawa dan Pulau Sumatra. Terjadilah peristiwa yang sudah sangat dikenal, bahkan oleh mereka yang bukan ahli geologi sekalipun, bahwa pada 1883, tepatnya 27 Agustus 1883, Krakatau meletus dahsyat. Kekuatan letusannya mencapai 6 *VEI* (*Volcanic Explosivity Index*). Seorang ahli mengatakan bahwa letusan Krakatau 1883 setara dengan 1000 kali letusan Gunung *Eyjafjallajokull* di Eropa Utara pada April 2010. Letusan itu memporak-porandakan wilayah-wilayah pantai dari Banten, Lampung, hingga Jakarta. Lebih dari 36.000 korban meninggal akibat letusan tersebut dan tsunami yang ditimbulkannya.

Jika Bumi ini diibaratkan manusia, Krakatau yang meletus dahsyat pada 1883 itu seakan sosok seorang lelaki yang meradang marah. Ia meluluh-lantakkan apa saja yang ada di hadapannya. Bumi pada saat seperti itu mungkin juga gambaran seorang ayah yang tanpa belas kasihan melaksanakan satu titah penghukuman atas kedurhakaan anak-anaknya. Namun, Bumi tak hanya tampil bak lelaki yang marah atau ayah sang penghukum. Ia juga menampakkan keindahannya nan memikat, bahkan memberikan manfaat yang melimpah ruah kepada manusia dan alam sekitarnya. Begitulah paradoks Bumi yang memiliki sifat *Yin* dan *Yang* sekaligus itu.

Seperti Krakatau, gunung api dan bagian Bumi lainnya manakala mereka sedang istirahat adalah seorang ibu yang tangguh, pemaaf dan penyayang. Sebenarnya kita beruntung, karena Bumi dalam keadaan ramah seperti itu sesungguhnya adalah sosok bumi yang paling sering kita hadapi. Bumi yang berperilaku bak seorang ibu itu adalah Bumi untuk kesenangan dan kesejahteraan manusia. Namun, kita tidak boleh lengah, karena di antara waktu yang menyenangkan itu, Bumi terkadang mengamuk dan menumpahkan amarahnya.

Geomagz Volume 1 Nomor 3, Juli-September 2011 kali ini memperingati ulang tahun ke 128 peristiwa letusan dahsyat Krakatau sambil menyajikan contoh-contoh lain dari adegan paradoks Bumi kita ini. Sebuah tulisan tentang perkembangan Gunung Anak Krakatau; dan tulisan lain tentang perkembangan kawah Gunung Galunggung, menyajikan tamsil seorang ibu yang sedang menumbuhkan sebuah gunung, sumber kehidupan di sekitarnya. Artikel tentang kawah meteor yang menampilkan betapa Bumi ini begitu rentan di suatu waktu, namun cukup mampu untuk tumbuh dan pulih kembali. Demikian pula, artikel tentang batubara dan nilai tambahnya menyajikan sosok ibu yang pemurah. Ia sediakan sumber daya alam untuk kesejahteraan manusia, penghuni Bumi.

Adapun tulisan tentang Sodom dan Gomora, menampilkan fenomena bumi "yang murka". Dari sisi agama, kita menyebutnya sebagai Bumi yang sedang menjalankan perintah Tuhan yang Maha Hakim menghukum suatu masyarakat karena pembangkangan atas perintah-Nya. Refleksi yang senada dapat kita tangkap dari tulisan tentang letusan Krakatau jauh di masa lalu (kemungkinan tahun 535 M) yang mengubah peradaban dunia.

Profil Geomagz edisi kali ini menampilkan R.P. Koesoemadinata, profesor emeritus Geologi ITB, seorang tokoh geologi Indonesia yang juga disegani di tingkat internasional. Geomagz kali ini juga menampilkan foto-foto Letusan Krakatau masa kini bersama dengan artikel dan foto-foto lainnya tentang *Yin* dan *Yang* Bumi kita ini.

Semoga kita senantiasa dapat menjaga keseimbangan kehidupan di atas Bumi: kita sebarkan berkah kebaikannya; dan kita waspadai serta kita hindari murka dan ancaman bencananya.

Selamat membaca. ■

Oman Abdurahman
Pemimpin Redaksi

Surat

Melihat Geomaz, membuat saya jadi ingin kuliah di Geologi, mempelajari bumi dan isinya. Wah, benar-benar menarik. Salut.

Johny Girsang
TELKOM Indonesia

Jawab: Seperti kata Peter Senge, belajar itu harus dilakukan terus-menerus sepanjang hayatnya. Kalau tidak, maka dia akan ketinggalan. Semoga Geomagz dapat menjadi tempat belajar ilmu kebumian yang menyenangkan yang dapat memenuhi harapan pembacanya.

Terima kasih atas kiriman Geomagz. Kami selalu mendukung penerbitan majalah ini, dan akan memberikan masukan, serta akan meneruskan majalah ini kepada rekan-rekan.

Agus Danar
Pengamat Energi

Jawab: Semoga majalah ini dapat berkembang dengan baik, dan selalu menanti tulisan bapak selanjutnya.

Sekilas aku sudah lihat Geomagz. Bagus, indah gambar dan penyusunannya, kreatif, tema menarik, pokoknya TOP-*lah*....

Andy Sianipar
Pusat Penelitian dan
Pengembangan Geologi Kelautan

Jawab: Semoga Geomagz dapat terus meningkatkan penyajiannya untuk memenuhi harapan para pembacanya. Ini merupakan tantangan yang harus dijawab oleh pengelola majalah ini.

Melihat foto-foto Geomagz mengingatkan akan kebesaran Sang Maha Pencipta. Sungguh, di balik keindahan terdapat kekuatan yang maha dahsyat.

Gultom Guska
Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara

Jawab: Bila foto-foto dalam majalah ini telah menggugah hati untuk mengingat kebesaran Sang Maha Pencipta, semoga kami dapat terus meningkatkan kualitas foto menjadi lebih baik lagi. Redaksi senantiasa menanti kiriman foto dari pembacanya.

Ralat

Pada Geomagz Vol. I No. 2 artikel berjudul **Museum Geologi**, seharusnya tertera nama penulisnya **Sinung Baskoro**, dan artikel berjudul **Tiga Museum Geologi di Jepang** ditulis oleh **Budi Brahmantyo**. Artikel Profil seharusnya berjudul **J.A. Katili Bapak Geologi Indonesia**.

KAWAH GALUNGGUNG

Sketsa Kawah Gunung Galunggung dibuat pada saat kunjungan pertama sebelum erosi yang merusak bentuk awal. Tampak *cinder cone* di tengah kawah membentuk dua bukit. Titik a adalah bukit I *cinder cone* ketinggian 1035 m dpl, titik b adalah bukit II *cinder cone* ketinggian 1034 m dpl. Titik c adalah lava yang sempat mengalir pada aktivitas terakhir Letusan Galunggung 1982, antara 1 – 7 Januari 1983, dan titik d adalah lokasi dengan ketinggian 1149 m dpl. Sketsa dibuat dari Gunung Warirang dibantu dengan foto dan peta topografi Kawah Galunggung.

A. S. Sumintadipura dan A. Martono, 15 Maret 1983.
Sumber: Berita Geologi, N. 1, V. 17, Desember 1984

GUNUNG ANAK KRAKATAU

Si Bongsor dari Selat Sunda

Gunung Anak Krakatau lahir tahun 1929 dari reruntuhan Gunung Krakatau yang ambruk pada letusan dahsyat tahun 1883. Anak Krakatau ini tak pernah tinggal diam, hampir setiap tahun meletus, sehingga gunung api di Selat Sunda ini mengalami pertumbuhan yang bongsor, dengan laju pertumbuhan sekitar 4 m per tahunnya. Pada tahun 2010, tingginya mencapai 320 m dpl. Dalam foto terlihat material letusan gunung api yang berukuran debu, dilontarkan ke angkasa dan tertiup angin. Material yang berukuran lebih besar, seperti lapilli, pasir kasar sampai batuan kecil seukuran kelereng, dan bom gunung api, melayang rendah, menuruni lereng. Tampak aliran material letusan yang berukuran besar bagaikan gulungan ombak menyusuri lereng hingga mencapai pantai Anak Krakatau.

Foto: Anton Sigit Tripambudi
Teks: SR. Wittiri

GUNUNG RINJANI

Dewi yang Sedang Membesarkan Anaknya

Gunung Rinjani di Lombok utara, ketinggian puncaknya mencapai 3726 m dpl. Jauh di dasar kalderanya, tampak Gunung Barujari yang merupakan gunung api sekunder. Ia tumbuh di tengah-tengah danau kaldera Segaraanak yang berbentuk bulan sabit nan mempesona. Masyarakat Sasak di Lombok meyakini bahwa di Gunung Rinjani bersemayam Rara Anjani atau Dewi Anjani sebagai penguasa gunung, dan nama dewi ini menjadi asal usul nama Gunung Rinjani. Bebatuan runcing di latar depan foto adalah bagian puncak Gunung Rinjani yang telah mengalami oksidasi kuat sehingga berwarna coklat kemerahan.

Foto: Emma Kusumaningsih
Teks: SR. Wittiri

WAYAG, RAJAAMPAT

Ikon Geowisata Bahari Papua

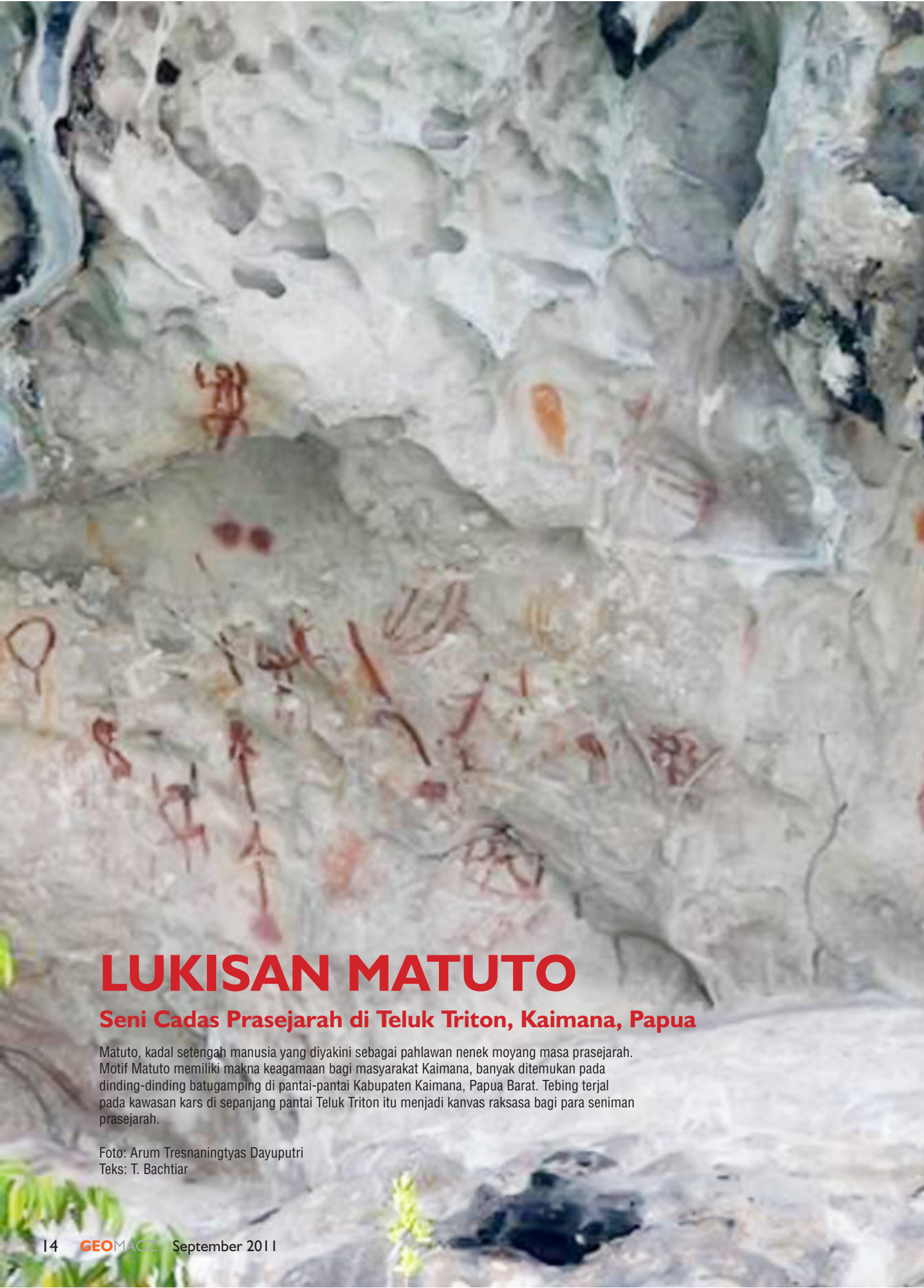
Kepulauan Wayag, Rajaampat, Papua Barat, begitu eksotis dan mengagumkan. Wayag menjadi ikon wisata bahari dengan lautnya yang jernih dan taman terumbu karang yang indah serta kaya dengan spesies koral. Bukit-bukit kars yang ditumbuhi pepohonan berwarna hijau yang menyembul dari muka laut, membentuk kombinasi pemandangan yang luar biasa. Bukit-bukit kars itu hasil dari proses karstifikasi pada Formasi Waigeo berumur Miosen Tengah, yang terdiri dari batugamping terumbu dengan sisipan batugamping pasiran dan napal. Dengan informasi geologi itu, selain sebagai wisata bahari, potensi geowisata Rajaampat pun sangat potensial untuk dikembangkan. Ketika gaya berwisata modern tidak sekadar rekreasi, informasi wisata interpretatif – salah satunya geowisata – menjadi bagian yang tak terpisahkan dalam industri pariwisata.

Foto: Riefka Dachlan
Teks: Budi Brahmantyo

AMFITEATER RAKSASA CILETUH

Hasil Tumbukan Dua Lempeng pada Zaman Kapur

Teluk Ciletuh, Sukabumi selatan, sebuah amfiteater raksasa yang menyajikan bentang alam mempesona, menarik, dan istimewa. Kawasan yang terletak di tepi Samudera Hindia ini ditempati oleh batuan bancuh *(melange)* yang patut dijadikan cagar geologi, tempat belajar lapangan. Salah satu batuan tertua di Pulau Jawa yang tersingkap ke permukaan ini merupakan hasil interaksi dua lempeng tektonik, diduga pada Kapur Akhir sampai Tersier Awal.

Foto: Dedi Suhendra
Teks: T. Bachtiar

LUKISAN MATUTO

Seni Cadas Prasejarah di Teluk Triton, Kaimana, Papua

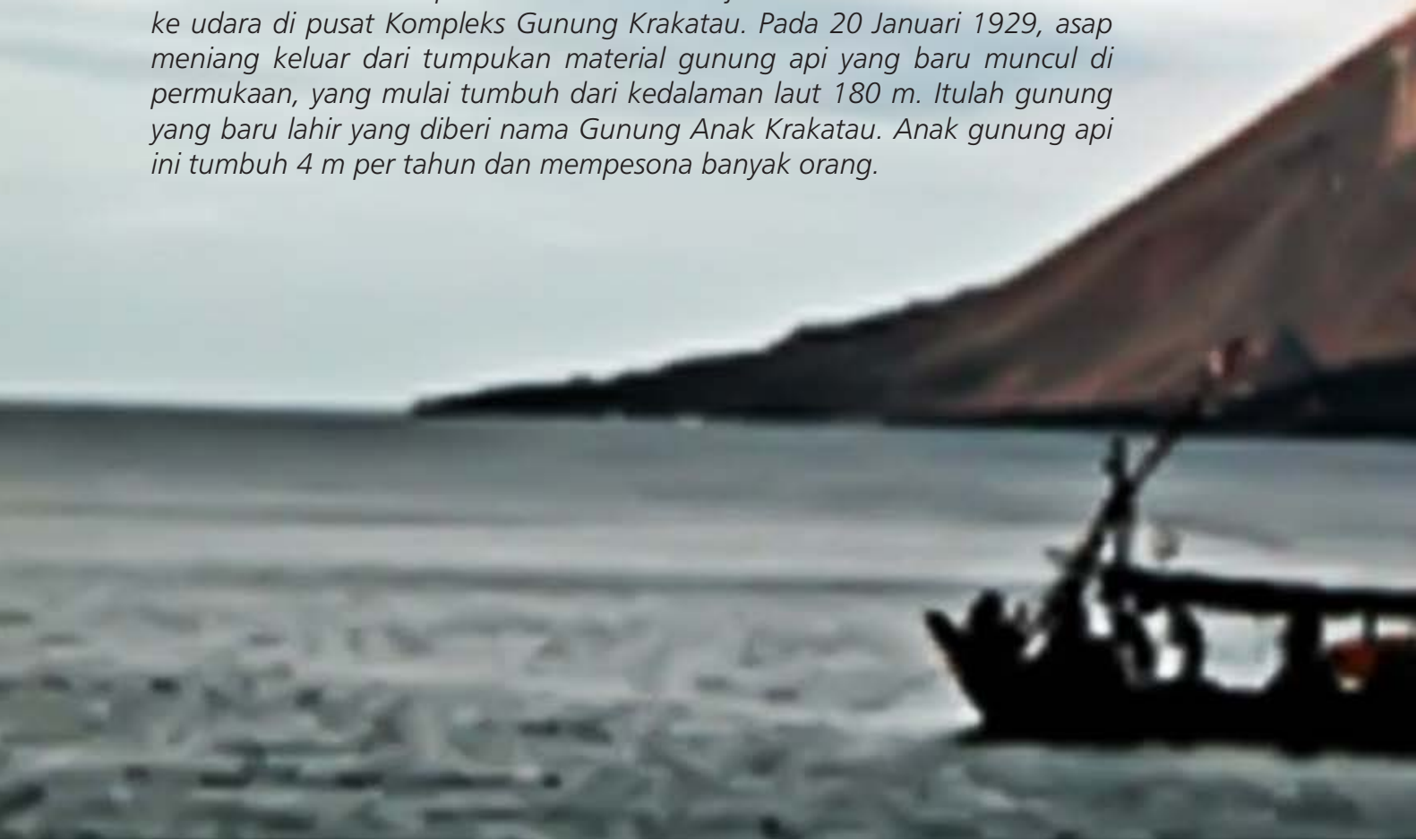
Matuto, kadal setengah manusia yang diyakini sebagai pahlawan nenek moyang masa prasejarah. Motif Matuto memiliki makna keagamaan bagi masyarakat Kaimana, banyak ditemukan pada dinding-dinding batugamping di pantai-pantai Kabupaten Kaimana, Papua Barat. Tebing terjal pada kawasan kars di sepanjang pantai Teluk Triton itu menjadi kanvas raksasa bagi para seniman prasejarah.

Foto: Arum Tresnaningtyas Dayuputri
Teks: T. Bachtiar

Gunung Anak Krakatau

Sang Anak yang Tumbuh Pesat

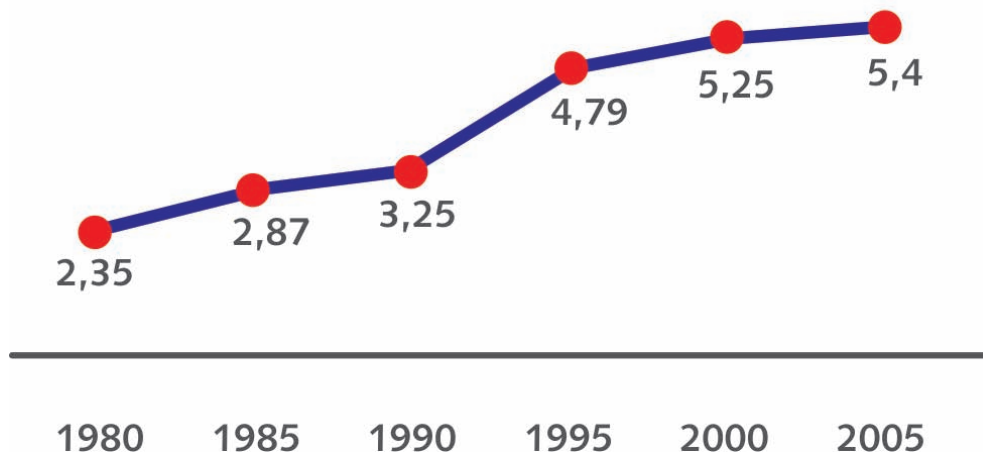
Oleh: Igan S. Sutawidjaja

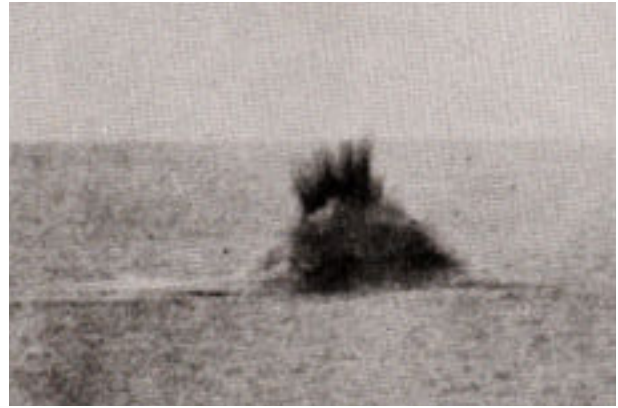
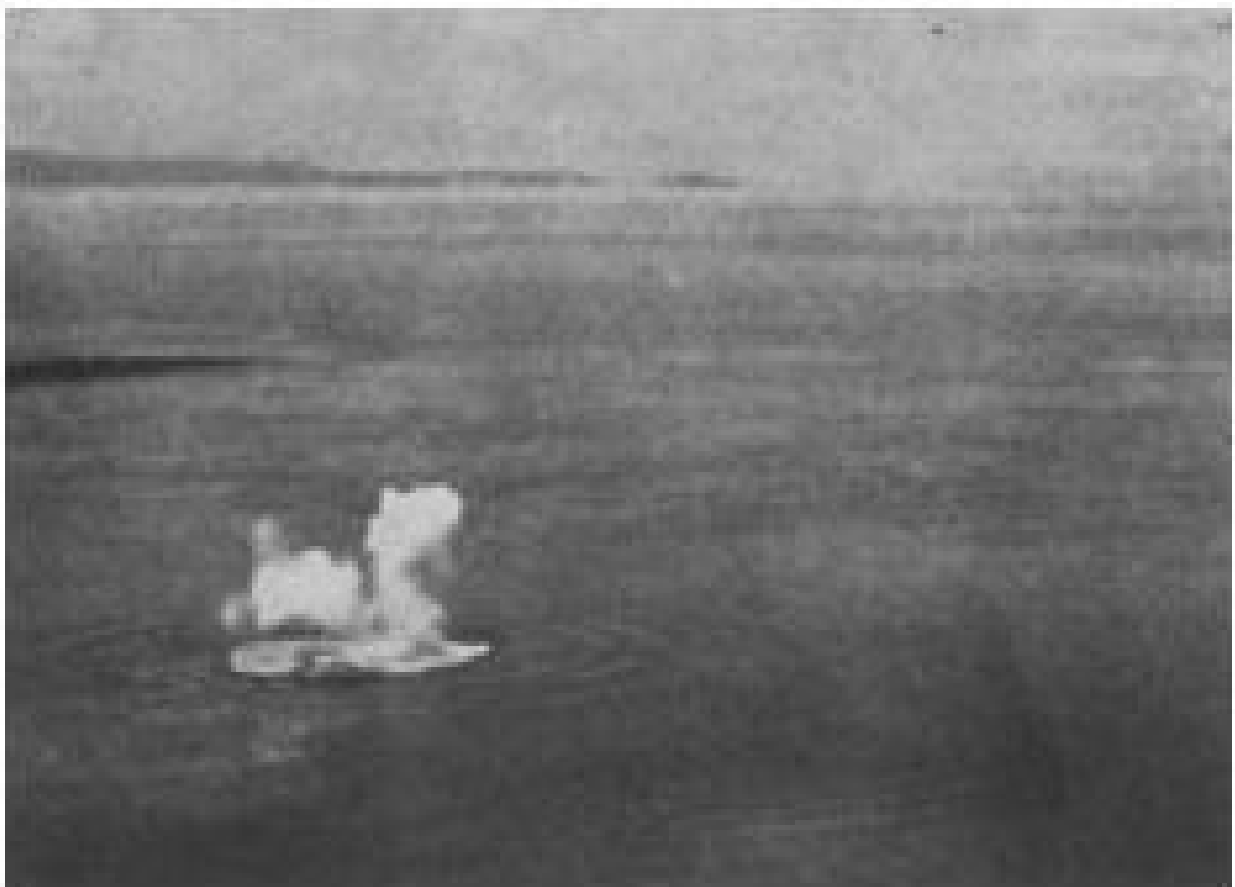
Selama dua tahun sampai 15 Januari 1929 terjadi rentetan semburan air laut ke udara di pusat Kompleks Gunung Krakatau. Pada 20 Januari 1929, asap meniang keluar dari tumpukan material gunung api yang baru muncul di permukaan, yang mulai tumbuh dari kedalaman laut 180 m. Itulah gunung yang baru lahir yang diberi nama Gunung Anak Krakatau. Anak gunung api ini tumbuh 4 m per tahun dan mempesona banyak orang.

Peta lokasi pulau-pulau sekitar Selat Sunda

Sejak munculnya di permukaan laut pada 1929 hingga saat ini, pertumbuhan Gunung Anak Krakatau terbilang cepat. Selama 80 tahun, sampai dengan 2010, tingginya sudah mencapai 320 m dpl, estimasi percepatan pertumbuhannya rata-rata 4 m per tahun.

Berdasarkan perhitungan, volume tubuh Gunung Anak Krakatau dari dasar laut sejak tahun 1927 sampai dengan 1981 mencapai 2,35 km^3. Tahun 1983 membesar menjadi 2,87 km^3 dan tahun 1990 mencapai 3,25 km^3. Pengukuran terakhir yang dilakukan pada tahun 2000, tubuhnya sudah membengkak mencapai 5,52 km^3 (Gambar 2).

Aktivitas Gunung Anak Krakatau

Setelah melewati masa istirahat kedua, pada periode 1884 sampai Desember 1927, 29 Desember 1927 terjadi letusan bawah laut (Gambar 3) yang menyemburkan air laut di pusat Kompleks Gunung Krakatau menyerupai air mancur terjadi terus menerus sampai 15 Januari 1929 (Stehn, 1929). Pada 20 Januari 1929, Stehn melihat tumpukan material muncul di permukaan air tepat pada posisi Krakatau sebelum meletus di samping tiang asap dan membentuk satu pulau kecil. Itu hari pertama anak gunung lahir, kemudian dikenal sebagai hari kelahiran Gunung Anak Krakatau dari kedalaman laut 180 m (Gambar 4).

Gambar 2. Grafik pertambahan volume tubuh Gunung Anak Krakatau dalam km^3 dari tahun 1980-2005.

Aktivitas letusan Gunung Anak Krakatau sejak 1992 sampai dengan 2001 terjadi hampir setiap hari. Selama sembilan tahun, Anak Krakatau bertambah tinggi lebih dari 100 m dan penambahan areanya seluas 378.527 m^2. Apabila pertambahan tinggi dan volume konsisten, maka diperkirakan pada tahun 2020 volume Gunung Anak Krakatau akan melebihi volume Gunung Rakata, Gunung Danan, dan Gunung Perbuwatan (11,01 km^3) menjelang letusan katastrofis Gunung Krakatau pada Agustus 1883.

Gambar 3. Letusan bawah laut menjelang kelahiran Gunung Anak Krakatau (Foto: Stehn 1928).

Gambar 4. Kelahiran Gunung Anak Krakatau pada 20 Januari 1929, tinggi pulau 1,5 m dan diameter 4 m (Foto: Stehn, 1929).

Masa istirahat kegiatan letusannya berkisar antara 1 sampai 8 tahun dan rata-rata terjadi letusan 4 tahun sekali. Pada tahun 2000 dilakukan pengukuran dimensi Gunung Anak Krakatau, tingginya 320 m dpl dengan volume sebesar 5,52 km^3 (Gambar 5). Secara umum pertumbuhannya rata-rata 4 meter per tahun (Sutawidjaja, 1997). Bronto (1990) melakukan perhitungan kecepatan pertumbuhan Gunung Anak Krakatau, yaitu 0,051 km^3 per tahun, sehingga analisis volume secara kuantitatif, diperkirakan pada tahun 2020 volume Gunung Anak Krakatau akan melebihi volume Gunung Rakata, Gunung Danan, dan Gunung Perbuwatan (11,01 km^3) (Self and Rampino, 1981) menjelang letusan katastrofis Gunung Krakatau 1883.

Tercatat dalam sejarah sekurang-kurangnya telah tiga kali Gunung Krakatau mengalami penghancuran dan pembangunan tubuhnya kembali, yaitu tahun 416, 1200, dan 1883. Sebelum letusan yang menghancurkan tubuhnya pada 1883, di sekitar Krakatau tumbuh Gunung Rakata (822 m dpl), Gunung Danan (450 m dpl) dan, Gunung Perbuwatan (120 m dpl).

Segala aspek yang menjadi faktor pendorong meningkatnya ancaman bahaya bagi masyarakat jika terjadi letusan patut diperhitungkan. Melihat pertumbuhan kerucut Gunung Anak Krakatau yang sangat cepat; semakin tinggi dan besar, maka bencana seperti yang pernah terjadi pada 1883 letusan dapat terulang kembali. Meskipun demikian, besarnya tubuh suatu gunung api bukan penentu besarnya ancaman bahaya yang akan terjadi.

Ancaman itu meskipun masih jauh di depan mata, tetapi apabila hal tersebut benar-benar terjadi, maka bencana itu akan melanda kawasan Selat Sunda yang sangat padat penduduk dan menjadi kawasan industri.

Gambar 5. Anak gunung itu sekarang sudah tumbuh besar berumur 80 tahun.

Sejak munculnya Gunung Anak Krakatau 1929, para ahli gunung api mencurahkan perhatiannya dan bahkan khawatir kemungkinan akan terjadi kembali letusan besar seperti 1883, tetapi kemungkinan tersebut dibantah dengan berbagai alasan, di antaranya berdasarkan komposisi kimia batuan hasil letusan Gunung Anak Krakatau saat ini. Bemmelen (1949) berpendapat bahwa kemungkinan letusan katastropis dapat terulang kembali apabila komposisi kimia batuan hasil letusan, berubah dari magma basa (SiO_2 rendah) ke magma asam (SiO_2 tinggi). Ia juga menegaskan bahwa letusan berbahaya bagi Krakatau umumnya diawali masa istirahat ratusan tahun untuk pengumpulan energi baru. Seperti telah diterangkan sebelumnya bahwa pertumbuhan Gunung Anak Krakatau sangat cepat membangun tubuhnya dengan endapan piroklastik dan lava. Dari beberapa aktivitas letusan tersebut, terutama dari setiap letusan magmatik, diambil sampelnya untuk dianalisis kimia batuan. De Neve (1981) membuat diagram perubahan komposisi kimia batuan Gunung Anak Krakatau sejak 1930. Perubahan komposisi silika dari setiap letusan digambarkan dalam suatu grafik, kemudian grafik perubahan silika ini dilanjutkan sejak 1981.

Pada November 1992 hingga Juni 2001, Gunung Anak Krakatau meletus terus-menerus hampir setiap hari, bahkan hampir setiap 15 menit sekali, melontarkan piroklastik lepas jenis skoria berukuran abu, pasir, lapilli sampai bom vulkanik, dan beberapa letusan diakhiri dengan leleran lava. Setiap leleran lava tersebut dipetakan dalam Peta Geologi. Analisis batuan dari lava-lava tersebut menghasilkan komposisi silika yang berbeda dan cenderung meningkat persentase silikanya dari setiap letusannya. Nilai silika dalam komposisi Lava November 1992 sebesar 53,95%, Lava Februari 1993 sebesar 53,53%, Lava Juni 1993 sebesar 53,97%, dan leleran lava terakhir dari rentetan letusan tersebut adalah Juli 1996 dengan persentase silikanya 54,77% (Sutawidjaja, 2006). Terlihat bahwa garis dari nilai persentase silika tampak meningkat secara perlahan. Apabila peningkatan persentase silika ini terjadi secara konsisten dan diasumsikan meningkat satu persen dalam sepuluh tahun, maka untuk mencapai 68 % (komposisi asam) dibutuhkan waktu 140 tahun.

Kegiatan letusan Gunung Anak Krakatau saat ini bukan ancaman dan tidak menimbulkan bencana bagi penduduk dan pelayaran di sekitar Selat Sunda, karena jangkauan lontaran batu (pijar) terbatas sekitar Pulau Anak Krakatau. Tinggi tiang asap berkisar antara 100 m sampai 1000 m di atas puncak dengan radius 3 km dari pusat erupsi. Sementara ini yang perlu mendapat perhatian adalah material berukuran abu yang diterbangkan angin sehingga mencapai jalur penerbangan pesawat terbang, sangat berbahaya apabila terhisap mesin jet, karena akan merusak mesin tersebut.

Berdasarkan hal tersebut di atas, sesungguhnya bencana yang mengintai adalah banyaknya wisatawan yang datang berkunjung ke Anak Krakatau. Mereka pada umumnya ingin melihat letusan lebih dekat, bahkan memaksa mendarat dan naik ke lereng gunung api yang sedang aktif. Hal tersebut sering terjadi karena lemahnya pengawasan. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan koordinasi antara Perhotelan, Perusahaan Travel, BKSDA Lampung, Pemerintah Daerah (Lampung dan Banten), Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, dan Syahbandar, dalam rangka mengawasi dan melindungi para pengunjung, terutama bila anak gunung ini sedang meletus atau dinyatakan meningkat aktivitasnya.

Gambar 6. Letusan abu Gunung Anak Krakatau yang didorong oleh angin hingga membahayakan jalur penerbangan.

Potensi Wisata Kawasan Krakatau

Kawasan Krakatau merupakan kompleks gunung api dan Anak Krakatau adalah salah satu gunung api aktif di Indonesia yang sering meletus, hampir terjadi setiap tahun. Sebagai gunung api yang sedang tumbuh, letusan strombolian (letusan yang melontarkan lava pijar bagaikan air mancur) menjadi ciri khasnya (Gambar 7).

Selain bencana, Kawasan Krakatau menjanjikan banyak keindahan. Kawasan ini mempunyai sumber daya wisata yang melimpah dan merupakan aset bagi Pemerintah Daerah, antara lain sumber daya ilmiah dan sumber daya alam. Sumber daya ilmiah meliputi; obyek penelitian ilmu kebumian (vulkanologi, geologi marin, geofisika, meteorologi), biologi, dan lainnya. Sedangkan sumber daya alam antara lain potensi wisata kawasan gunung api, wisata hutan, wisata pantai, wisata laut dan menyelam. Apabila dikembangkan dengan pengaturan yang baik, potensi tersebut merupakan sumber penghasilan daerah yang cukup besar dan membuka lapangan kerja.

Gambar 7. Letusan stromboli Anak Krakatau yang menarik perhatian para wisatawan.

Obyek wisata pantai merupakan hamparan pasir putih yang tersusun atas butiran pasir batuapung, yang mempesona, ditemukan di beberapa bagian pesisir pantai Pulau Rakata, Pulau Sertung, dan Pulau Panjang. Di Pulau Anak Krakatau pasir pantainya hitam karena tersusun dari batuan hasil letusan gunung api berkomposisi andesitis dengan mineral gelap. Di beberapa tempat, pantai ini ditumbuhi beberapa jenis pepohonan yang didominasi oleh jenis *Ipomoea pes-caprae* dan jenis jenis lain yang tumbuh merambat pada tumbuhan pokok.

Sejak kemunculannya sampai dengan tahun 1932 telah mulai muncul tumbuhan pioneer dan anakan pohon (*seedling*) beberapa spesies tipe pantai tetapi semuanya kembali musnah pada letusan yang cukup besar pada tahun 1933. Sampai sekarang ini Gunung Anak Krakatau masih merupakan gunung api yang aktif dan masih sering menyemburkan lava dan pasir panas secara periodik. Oleh karena itu kondisi vegetasi di Gunung Anak Krakatau merupakan kondisi yang selalu mengalami suksesi tumbuhan yang tidak pernah mencapai klimaks.

Meskipun Anak Krakatau merupakan gunung api aktif, tetapi pada bagian tertentu, terutama pada sisi timur telah banyak ditumbuhi vegetasi, didominasi oleh hutan *Neonauclea*, hutan *Timonius,* dan hutan *Dysoxylum* yang bercampur dengan jenis pohon lain dalam jumlah relatif sedikit. Daerah punggung gunung umumnya masih gundul karena suhu tinggi dan kekurangan air. Pada daerah ini dijumpai jenis tumbuhan pioner seperti gelagah, sengguguk (*Melastoma affine*).

Balai Konservasi Sumber Daya Alam (BKSDA) yang mengelola kawasan ini berupaya melestarikan dan mengembangkannya untuk ekowisata dengan memberikan layanan dan memenuhi kebutuhan para wisatawan agar dapat menikmati lingkungan yang asri alami dengan aman. Termasuk pada umumnya para pengunjung Kawasan Krakatau wisatawan

Gambar 8. Pantai Lagun Cabe di Pulau Rakata, merupakan pantai favorit untuk mandi di laut, *snorkling, diving.*

Gambar 9. Tanaman jenis Ipomoea pes-caprae yang tumbuh di pulau Rakata, Panjang dan, Pulau Sertung.

Gambar 10. Pantai di Pulau Anak Krakatau, merupakan tempat pendaratan untuk mendaki ke puncaknya.

Gambar 11. Sebelah timur Anak Krakatau, didominasi tumbuhan *Neonauclea, Timonius,* dan *Dysoxylum* yang bercampur dengan jenis jenis pohon lain dalam jumlah relatif sedikit.

mancanagara yang berduit, karena kunjungan ke daerah ini memerlukan biaya tinggi, untuk sewa kapal dalam kondisi baik karena arus gelombang laut cukup kuat. Kehadiran para wisatawan ke kawasan ini, baik secara langsung maupun tidak langsung dapat meningkatkan perekonomi masyarakat sekitarnya. Diperkirakan waktu tinggal wisatawan mancanegara di Indonesia kelak akan menjadi lebih lama, yakni rata-rata 12 hari. Daerah tujuan wisata akan dibuka lebih banyak lagi, demikian juga dengan pesona wisata yang akan lebih bervariasi sehingga akan menjadi lebih memikat dengan demikian diharapkan devisa yang akan diperoleh juga akan menjadi lebih meningkat.

Masyarakat di sekitar Selat Sunda dapat menikmati pendapatan alternatif serta berperan serta menjaga kelestarian lingkungan yang menjadi sumber kehidupan mereka. Masyarakat, di samping sebagai petani atau nelayan, juga dapat memperoleh manfaat ekonomi atas kehadiran para wisatawan dengan jalan membuka pemondokan, menjadi pemandu, porter dan lain sebagainya.

Setiap pulau kecil yang masih memiliki lingkungan asli selalu menyajikan pesona luar biasa. Sebagai negara kepulauan, Indonesia memiliki ribuan pulau-pulau berukuran kecil yang mempesona. Namun,

sayang tidak banyak pulau kecil yang dapat bertahan dari berbagai kerusakan baik dari alam maupun dari ulah manusia. Komplek Krakatau merupakan salah satu pulau yang memiliki keindahan dan aset ilmu pengetahuan yang perlu dijaga.

Selain pantai yang indah dan bersih, sekitar perairan Kawasan Krakatau terbentuk terumbu yang sangat indah. Terumbu karang merupakan ekosistem laut yang terdapat di perairan tropika yang mempunyai produktivitas tinggi dengan keanekaragaman biota yang besar dan dilihat dari sudut estetika sangat indah pula (Johannes,1972). Menurutnya, terumbu karang hanya dapat hidup dengan baik pada perairan yang bersuhu antara 20° dan 28° walaupun masih dapat hidup pada suhu beberapa derajat di bawah atau di atasnya. Terumbu karang terdapat pada perairan dangkal dan mencapai pertumbuhan optimum pada kedalaman kurang dari 30 m. Air laut yang jernih dan salinitas yang tinggi (berkisar antara 27% sampai dengan 40%. Dalam ekosistem terumbu karang, karang batu (*Scleractinia*) merupakan komponen utama dan mempunyai peranan yang sangat menonjol. Keindahan panorama bawah air, seperti terumbu karang dengan beranekaragam fauna dan floranya merupakan daya tarik tersendiri untuk wisata penyelaman di perairan dangkal dengan *scubing* atau *snorkeling*. Dengan perencanaan yang seksama, yang merupakan salah satu elemen penting untuk mengembangkan pariwisata, para wisatawan akan merasa nyaman dan aman berwisata ke Pulau Anak Krakatau. ■

Penulis adalah Penyelidik Bumi Badan Geologi

Gambar 12. Jenis terumbu karang yang tumbuh di kawasan Krakatau, terutama di sekitar Lagun Cabe pantai timur P. Rakata.

DAFTAR PUSTAKA

Bemmelen, R.W. van, 1949, *The Geology of Indonesia.* Vol.1, The Hague, 194-213.

Bronto, S., 1990, G. Krakatau. *Berita Berkala Vulkanologi,* Edisi Khusus No. 133. Direktorat Vulkanologi.

De Neve, G.A., 1981, *Historical notes on Krakatau's eruption of 1883, and activities in previous times.* Natl. Inst. Oceanology (LON-LIPI), Jakarta, 45 pp.

Johannes, R.E.,1972.- Coral reef and pollution. In: "Marine Pollution and Sea Life" (RUIVO ed.): 365-374. Fishing News Book Limited, London.

Self, S., and Rampino, M., 1981, *The 1883 eruption of Krakatau.* Nature, V. 294, pp. 699-704.

Stehn, CH. E., 1929, *The geology and volcanism of the Krakatau Group.* Part I. 1-55.

Sudradjat, A., 1983, *The morphological development of Krakatau volcano, Sunda Strait, Indonesia.* Proceeding of 100th year Development of Krakatau and Its Surrounding, LIPI, Indonesia.

Sutawidjaja, I.S., 1997, *The activities of Anak Krakatau volcano during the years of 1992-1996.* The Disaster Prepention Research Institute Annuals, No. 40 IDNDR S. I., Kyoto University, Kyoto, Japan.

Sutawidjaja, I.S., 2006, *Pertumbuhan Gunung Api Anak Krakatau setelah letusan katastrofis 1883.* Jurnal Geologi Indonesia, Vol.1 No.3,143-153.

KERUCUT SINDER Galunggung

Oleh: Heri Supartono

Letusan Gunung Galunggung April 1982, letusan sembilan bulan itu meninggalkan kawah yang terbuka dan kerucut sinder *(cinder cone)* di tengahnya. Dua tahun setelah letusan, kawah mulai terisi air, menjadi danau kawah, yang pada tahun 1993 volume airnya mencapai 10 juta m^3. Keadaan ini sangat berbahaya bila terjadi letusan, yang akan menghamburkan lahar letusan. Dibuatlah terowongan ke Ci Kunir sepanjang 650 m untuk mengurangi volume air kawah hingga tersisa 750.000 m^3.

Beberapa hari langit Jawa Barat temaram di saat siang hari. Fenomena tersebut bukan pertanda hujan akan turun, tetapi cahaya matahari terhalang oleh debu letusan Gunung Galunggung yang mengangkasa hingga puluhan kilometer tingginya.

Letusan Gunung Galunggung yang berlangsung pada April 1982 merupakan letusan gunung api yang tergolong dahsyat di penghujung abad 20. Sebelum meletus, gunung api ini mengalami istirahat selama 65 tahun sehingga tidak mengheranakan apabila energinya cukup besar untuk menghasilkan suatu letusan besar. Selain itu, keberadaan sumbat lava di tengah kawah, dikenal dengan Gunung Jadi, menyebabkan letusan berlangsung lama karena proses penghancuran sumbat tersebut. Letusan Galunggung berlangsung lebih dari sembilan bulan lamanya dan meninggalkan kawah yang terbuka dan seonggok material letusan di tengahnya yang dikenal dengan kerucut sinder.

Dua tahun setelah letusan berakhir, kawah mulai terisi air yang berasal dari mata air yang ada di sekitarnya dan air hujan. Lambat laun kawah mulai penuh dengan air dan berubah menjadi sebuah danau. Pada tahun 1993 volume air danau sudah mencapai sekitar 10 juta m^3.

Sebagai danau kawah gunung api, sangat riskan apabila penuh dengan air. Hal tersebut berkaitan dengan bencana yang akan menimpa apabila terjadi letusan berikutnya dikemudian hari. Bencana itu adalah lahar letusan atau lahar primer dan awan panas. Terutama lahar yang akan melanda areal yang sangat luas karena akan menumpahkan air danau bersama dengan material padat yang tercipta sebagai adonan lumpur panas bersamaan dengan letusan yang dikenal dengan lahar primer.

Untuk menghindari hal tersebut, pada 1994 dibuat terowongan di dinding kawah untuk mengeluarkan sebagian air. Upaya ini berfungsi ganda, pertama pengurangi volume air danau kawah dengan tetap mempertahankan sebagian isi air sebagai pendingin kawah dan yang kedua memanfaatkan air buangan untuk mengairi persawahan dan kolam ikan penduduk yang ada di sekitarnya. Pekerjaan terowongan berlangsung selama empat tahun dan selesai pada 1998 dengan menyisakan air sebanyak 750.000 m^3. Panjang terowongan 650 m dengan diameter 4 m yang dialirkan ke Ci Kunir.

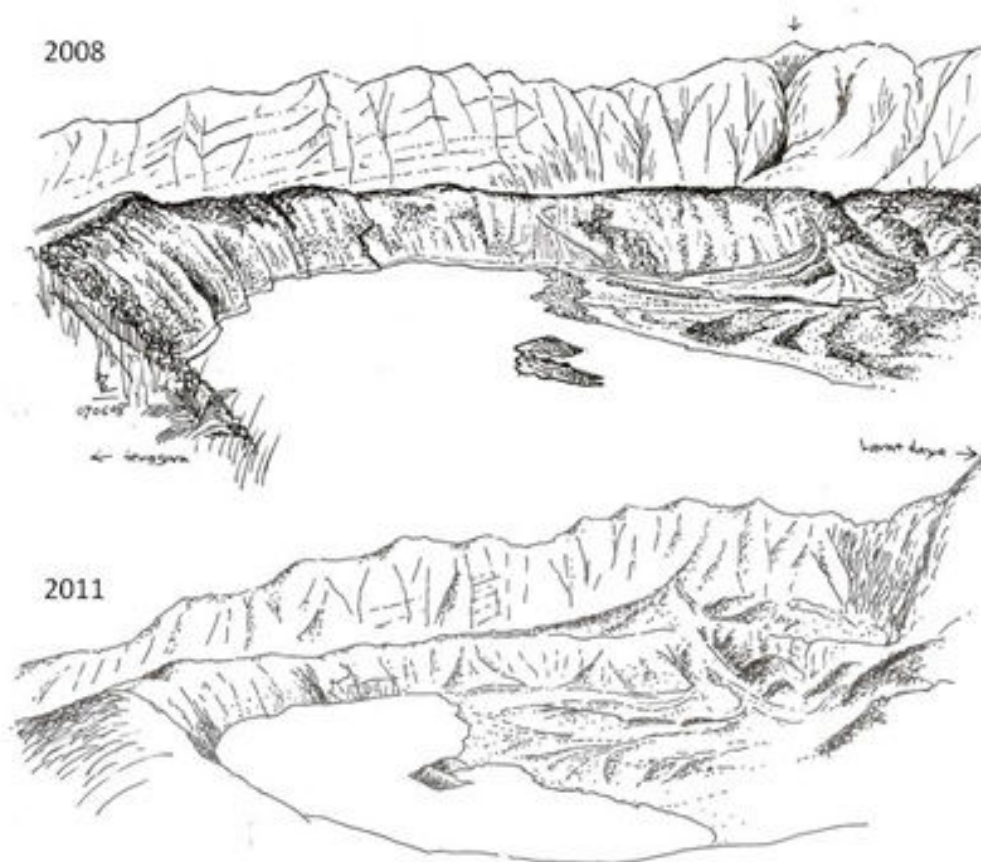
KONDISI DANAU KAWAH GALUNGGUNG

Sebelum dibuat terowongan pembuangan air, kerucut sinder terendam dalam air lebih dari setengahnya, yang tampak hanya bagian puncaknya berupa dua bukit di tengah danau. Setelah sebagian air danau dikeluarkan, kerucut sinder tampak bagaikan sebuah pulau yang memanjang. Dari waktu ke waktu "pulau" kerucut sinder tampak membesar dan mulai menyambung dengan pantai danau. Hal tersebut disebabkan karena terjadi longsoran yang berlangsung secara intensif di dinding kawah sebelah selatan dan timur. Material longsoran terbawa air hujan dan masuk ke dalam danau.

Tujuh tahun setelah terowongan berfungsi, tahun 2005 volume air kawah tampak stabil, yang ditunjukkan oleh kondisi kerucut sinder masih bagaikan dua pulau di tengah danau.

Gambar 1. Kondisi danau kawah Galunggung pada tahun 1997, pembuatan terowongan kawah masih berlangsung. Tampak kerucut sinder bagaikan dua pulau di tengah danau. Tahun 2008 material longsoran mulai mengisi danau. Air kawah mulai terdesak lebih banyak keluar menyebabkan dasar danau mendangkal. Kerucut sinder mulai tampah lebih utuh berupa pulau yang memanjang dengan dua puncak. Setahun berikutnya, tahun 2009 sisi barat kerucut sinder mulai menyambung dengan pantai danau sisi selatan. Hal tersebut menandakan bahwa sedimentasi semakin intensif terjadi.

Gambar 2. Kondisi kawah Galunggung pada tahun 2005, 7 tahun setelah terowongan berfungsi. Dasar kawah yang tidak tergenang air tampak hijau, kerucut sinder masih berupa dua pulau.

Gambar 3. Tahun 2008 pendangkalan danau kawah mulai terjadi. Wujud kerucut sinder bukan sebagai dua pulau tetapi sebuah pulau yang memanjang dengan dua puncak (kiri). Tahun 2009 pantai danau semakin menjorok ke tengah danau dan membentruk sebuah "jembatan" menuju pulau kerucut sinder (kanan).

Gambar 4. Sketsa danau kawah Gunung Galunggung antara tahun 2008, kerucut sinder masih terpisah dengan pantai danau. Tahun 2011, kerucut sinder sudah menyambung dengan pantai danau. Sketsa oleh Budi Brahmantyo.

Tahun 2010 sedimentasi semakin besar sehingga pulau kerucut sinder dengan tepi danau hampir menyatu seolah-olah tidak ada batas lagi.

Gambar 5. Tampak kerucut sinder sudah menyatu dengan pantai danau.

Gambar 6. Jalur endapan membentuk alur sungai di dasar kawah.

KEGIATAN GUNUNG GALUNGGUNG

Sudah 29 tahun Galunggung memasuki masa istirahat setelah didera letusan besar pada pertengahan 1982. Berdasarkan hasil pemantauan kegempaan selama tahun 2010 beberapa kali nilai kegempaan, terutama gempa vulkanik meningkat jumlahnya.

Bulan	Gempa Tektonik Jauh	Gempa Tektonik Lokal	Gempa Vulkanik A	Keterangan
Januari	80	1	8	1 x MMI.I-II
Februari	66	0	10	1 x MMI.I-II
Maret	78	2	11	
April	58	1	3	1 x MMI II
Mei	86	3	13	1 x MMI.I-II
Juni	71	1	22	1 x MMI.I-II
Juli	79	3	31	
Agustus	86	2	13	
September	77	0	4	
Oktober	120	4	34	
November	100	0	6	2 x MMI I-II
Desember	56	1	7	
Jumlah	**957**	**17**	**162**	**7 x MMI.I-II**

Tampak dalam tabel di atas, jumlah gempa vulkanik tertinggi terjadi pada Oktober 2010 setelah lima bulan berturut-turut, kecuali Maret, Galunggung dan sekitarnya digoncang gempa bumi tektonik terasa. Gempa tektonik dapat menjadi motor penggerak meningkatnya kegiatan vulkanik suatu gunung api, tidak harus meletus, tetapi paling tidak mempengaruhi perekahan di bawah kawah.

Pada Juli 2011 mulai tampak bualan air di tengah danau. Indikasi ini menyiratkan bahwa mulai terbentuk titik solfatara/fumarola di dasar kawah. Yang agak melegakan, pH dan warna air danau tidak berubah. Keasaman (pH) 7, normal dan tampak jernih dengan suhu 52°C.

Gambar 7. Kertas lakmus menunjukkan pH air kawah pada nilai 7, normal

Apapun adanya, Galunggung sudah memberi sinyal awal bahwa kegiatan vulkanik mulai menggeliat. Tidak ada yang tahu persis kapan saatnya meletus, tetapi hendaknya semua pihak mulai menyiapkan diri. ■

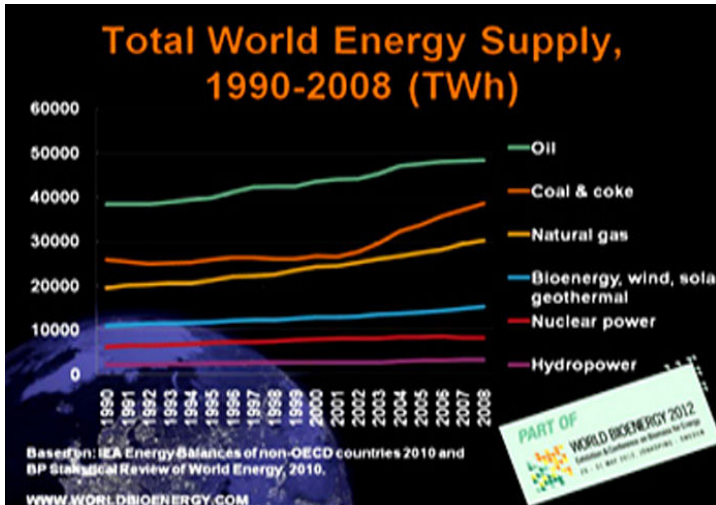
Gambar 8. Salah satu daya tarik mengunjungi kawah Galunggung adalah memancing. Tampak beberapa orang tengah memancing dari tepi danau kawah Galunggung. Kegiatan ini menunjukkan bahwa masih ada ikan yang hidup dengan keasaman dan suhu yang relatif konstan.

Penulis adalah Fungsional Pengamat Gunung Api, bekerja di Pos
Pengamatan Gunung Galunggung, PVMBG, Badan Geologi

Mengejar Nilai Tambah Batubara

Oleh: Sabtanto Joko Suprapto

Batubara tidak hanya sekedar batu alam yang apabila dibakar bisa membara mengeluarkan api untuk sumber energi, akan tetapi dapat menjadi bahan bakar gas dan bahan bakar cair yang bersih lingkungan. Selain itu batubara dapat menjadi produk bahan kimia untuk keperluan industri yang lebih hilir.

Tambang batubara di Kalimantan Timur

Sumber: www.worldbioenergy.com

Ketika batubara hanya diperlakukan sebagai bahan energi yang dapat dibakar langsung, dicari dan dimanfaatkan dengan mudah, maka hasil yang diperoleh akan menjadi terlalu murah. Sementara apabila yang dikejar adalah nilai optimal dari manfaat batubara dimana nilai tambah berlipat ganda batubara dapat lebih banyak diupayakan, maka teknologi pengolahan dan ilmu pengetahuan tentang batubara lebih banyak yang harus kita kuasai.

Selama ini batubara dianggap sebagai sumber daya energi tidak terbarukan kurang ramah lingkungan, yang akan segera habis apabila dimanfaatkan. Akan tetapi dengan perkembangan teknologi eksplorasi, pengolahan, dan pemanfaatan batubara, maka dapat dihasilkan energi turunannya yang lebih ramah lingkungan dan diolah menghasilkan energi baru yang lebih efisien, sehingga bisa memperpanjang umur ketersediaan batubara, bahkan dengan bioteknologi dapat direkayasa menjadi energi terbarukan.

Akumulasi nilai tambah berlipat ganda sumber daya alam tidak terjadi di tempat sumber daya alam terbentuk, melainkan di pasar atau tempat komoditas dimanfaatkan. Dari banyak negara kaya, beberapa di antaranya sangat miskin sumber daya alam, ekonominya tumbuh dan berkembang pesat dari industri dengan mengimpor bahan baku, bahkan tidak hanya membeli bahan baku akan tetapi juga memiliki konsesi untuk mengeksploitasi sumber daya alam di negara lain termasuk di Indonesia. Nilai tambah berlipat ganda dari sumber daya alam terjadi dan dinikmati negara tersebut.

Terkait dengan peningkatan nilai tambah, dalam Undang-Undang Nomor 04 tahun 2009 mengamanatkan bahwa mineral dan batubara harus diproses di Indonesia. Batubara merupakan bahan energi yang sangat murah, bahan bakar utama selain solar yang telah umum digunakan pada banyak industri. Dari segi ekonomis batubara jauh lebih murah dibandingkan solar, dengan perbandingan: solar Rp 0,74/kcal sedangkan batubara hanya Rp 0,09/kcal.

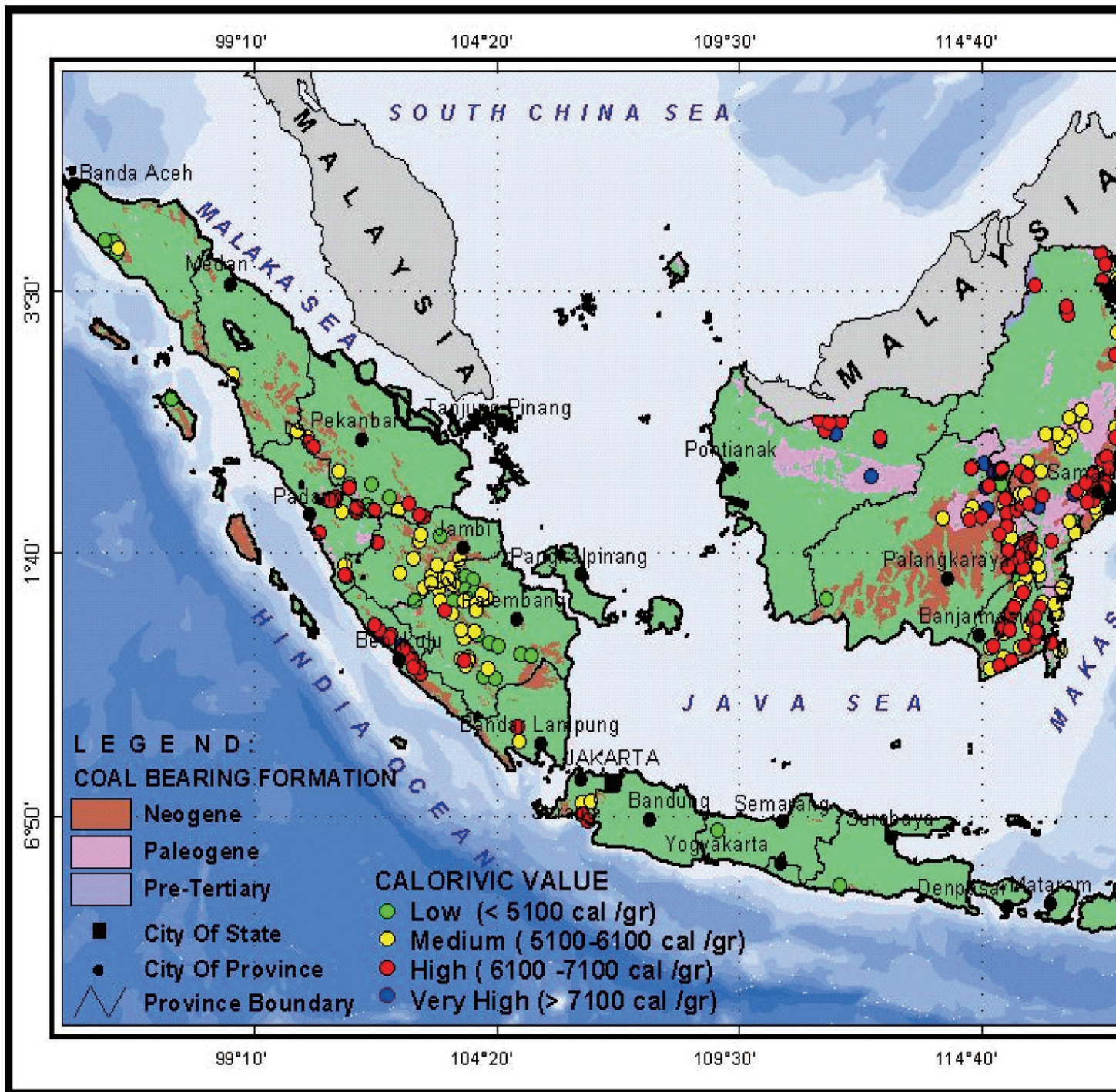
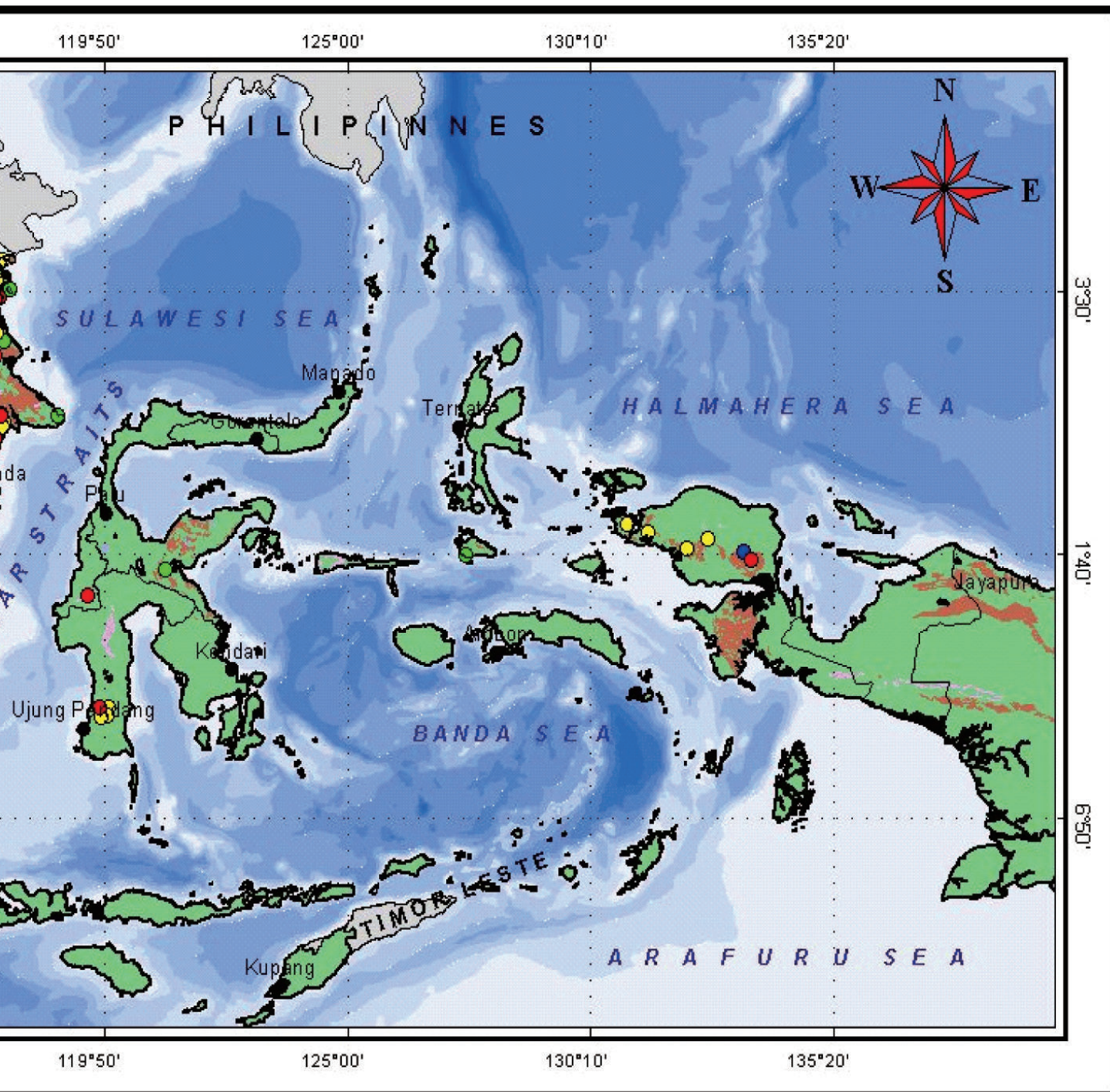
Diperlukan waktu jutaan tahun untuk proses pembentukan batubara. Sebagian besar batubara Indonesia berumur Tersier, atau sekitar 30 juta tahun. Harga Batubara Acuan (HBA) bulan April 2011 yang ditetapkan Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, Kementerian ESDM yaitu US$ 122,02/ton atau sekitar Rp 1050/kg. Apabila mempertimbangkan proses panjang pembentukan batubara, risiko lingkungan akibat penambangan, serta merupakan energi yang tidak terbarukan, maka nilai harga jual seribu limapuluh rupiah per kilogram tersebut belum merupakan harga yang istimewa apabila misalnya kita bandingkan harga singkong sekitar Rp 4000/kg dengan waktu tanam hanya sekitar empat bulan dan bisa tumbuh nyaris tanpa memerlukan perawatan.

Ketersediaan akan energi menjadi isu global, dimana dengan pertumbuhan penduduk yang masih pesat dan munculnya negara industri baru, semakin meningkatkan kebutuhan akan energi, baik untuk kebutuhan rumah tangga maupun menggerakkan industri. Sumber daya batubara yang demikian besar di Indonesia merupakan komoditas yang sangat strategis, merupakan modal pembangunan dan kekuatan negara, sehingga menjadi tantangan bagi kita, tidak hanya semata digunakan langsung untuk bahan bakar, apalagi diekspor tanpa menghasilkan nilai tambah sama sekali, akan tetapi harus menghasilkan nilai tambah dan efek ekonomi berganda yang besar sebagai penggerak percepatan pembangunan.

Meskipun selama ini dianggap sebagai bahan penghasil energi yang tidak ramah lingkungan, akan tetapi batubara penyumbang kedua akan kebutuhan energi dunia. Penggunaan batubara yang demikian besar, baik penggunaan di dalam negeri maupun luar negeri, sebagai salah satu penyumbang emisi gas karbon yang akan berdampak global. Jepang dengan kebijakan lingkungannya yang sangat ketat, merupakan pengimpor batubara terbesar dari Indonesia, untuk memenuhi kebutuhan energi dalam negerinya.

Potensi Batubara

Cadangan batubara seluruh dunia diperkirakan lebih dari 984 milyar ton, dapat dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan selama lebih dari 190 tahun, terdapat di lebih dari 70 negara, dengan cadangan terbanyak di AS, Rusia, China, dan India.

Batubara yang berpotensi ekonomis di Indonesia terdapat di cekungan Tersier, yang terletak di bagian barat Paparan Sunda, terutama di Pulau Sumatra dan Kalimantan. Pada umumnya berumur Eosen atau Tersier Bawah, sekitar 45 juta tahun yang lalu

Peta Formasi Pembawa Batubara.
Sumber: Badan Geologi, 2010

Batubara untuk pembangkit listrik di PLTU Suralaya, Banten

dan Miosen atau sekitar Tersier Atas, sekitar 20 juta tahun. Sebagian besar batubara termasuk dalam klasifikasi sub-bituminous dan bituminous.

Potensi sumberdaya batubara di Indonesia sangat melimpah, terutama di Pulau Kalimantan dan Pulau Sumatra, sedangkan di daerah lainnya dapat dijumpai batubara walaupun dalam jumlah kecil seperti di Jawa Barat, Papua, Maluku, dan Sulawesi. Sumber daya batubara di Indonesia mencapai sekitar 105 miliar ton, dengan status cadangan 21 miliar ton, dari jumlah tersebut 20,22% merupakan batubara dengan kalori rendah, 66,39% kalori sedang, 12,43% kalori tinggi dan hanya 0,96% kalori sangat tinggi. Tambang batubara utama berlokasi di Sumatera Selatan, Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan. Produksi batubara meningkat sebesar 16% per tahun selama 5 tahun terakhir. Saat ini sekitar 75% dari total produksi batubara diekspor, terutama ke Jepang, Taiwan, Korea Selatan dan Eropa.

Genesa Batubara

Di Indonesia batubara terbentuk pada cekungan sedimen berumur Permo-Karbon sampai Tersier (Neogen dan Paleogen). Sebagian besar batubara berumur muda (Neogen), berupa batubara lignit dan subbituminus dengan nilai kalori rendah dan sedang. Akan tetapi di beberapa tempat, seperti di daerah Bukit Asam dan Kubah Pinang (Sangata), pada lapisan batubara yang sama sebagian mendapat pengaruh panas dari intrusi magma, menyebabkan kualitasnya meningkat, sehingga ada yang mencapai peringkat antrasit.

Batubara terbentuk dari hasil pengawetan sisa-sisa tanaman purba dan menjadi padat setelah tertimbun oleh lapisan di atasnya. Pengawetan sisa-sisa tanaman ini sangat dipengaruhi oleh proses biokimia, yaitu pengubahan oleh bakteri. Akibat pengubahan oleh bakteri tersebut, bahan sisa-sisa tanaman kemudian terkumpul sebagai suatu massa yang mampat, yang disebut gambut. Proses pembentukan gambut terjadi karena akumulasi sisa-sisa tanaman, tersimpan dalam kondisi reduksi di daerah rawa-rawa, dengan sistem drainase kedalaman 0,5 – 0,1 m. Selanjutnya oleh aktivitas bakteri anaerobik dan jamur, bahan tersebut akan membusuk, berubah menjadi gambut. Pada tahapan ini yang berperan adalah proses biokimia atau diagenetik.

Gambut yang telah terbentuk lambat laun tertimbun oleh endapan-endapan seperti batulempung, batulanau, dan batupasir. Seiring berjalannya waktu,

gambut ini akan mengalami perubahan sifat fisik dan kimia akibat pengaruh tekanan dan temperatur, sehingga berubah menjadi batubara. Proses perubahan dari gambut menjadi batubara dikenal dengan nama proses pembatubaraan. Pada tahap ini proses pembentukan batubara lebih didominasi oleh proses geokimia dan fisika yang berpengaruh besar terhadap perubahan gambut menjadi batubara lignit, batubara bituminus, sampai batubara antrasit.

Pematangan bahan organik terjadi dengan cepat seiring bertambahnya kedalaman batubara. Hal ini disebabkan temperatur bumi semakin dalam akan semakin panas. Pematangan bahan organik juga dapat terjadi apabila terdapat gesekan akibat tektonik. Waktu pemanasan juga merupakan hal yang berpengaruh terhadap tingkat pematangan batubara, waktu pemanasan yang lebih lama akan menghasilkan tingkat pematangan batubara yang lebih tinggi. Oleh karena itu, batubara yang berumur lebih tua akan mempunyai tingkat pembatubaraan yang lebih tinggi. Tekanan juga mempunyai pengaruh terhadap proses pematangan batubara, hanya saja pengaruhnya relatif kecil bila dibandingkan dengan temperatur dan waktu. Dalam hal ini tekanan hanya berfungsi untuk memadatkan bahan organik dan mengurangi kandungan air di dalamnya.

Pada tahapan geokimia atau metamorfik, perubahan pada batubara yang terjadi adalah penambahan kandungan karbon, pengurangan kandungan hidrogen, dan oksigen, serta menghasilkan hilangnya zat terbang. Hal ini diteruskan dengan berkurangnya air dan kompaksi, menghasilkan pengurangan volume batubara. Produk dari tahap ini adalah gas metan, karbondioksida, dan air. Semakin tinggi derajat pembatubaraan, maka akan semakin banyak gas metan, semakin sedikit karbondioksida dan air.

PLTU Batubara

Pembangkit Listrik Tenaga Uap Batubara adalah salah satu jenis instalasi pembangkit tenaga listrik dimana tenaga listrik didapat dari mesin turbin yang diputar oleh uap yang dihasilkan melalui pemanasan menggunakan batubara. PLTU batubara merupakan sumber utama dari listrik dunia saat ini. Sekitar 60% listrik dunia bergantung pada batubara, hal ini dikarenakan PLTU batubara bisa menyediakan listrik dengan harga yang murah. Kelemahan utama dari PLTU batubara adalah pencemaran emisi karbonnya sangat tinggi, paling tinggi dibanding bahan bakar lain.

Untuk menghasilkan listrik murah, dikembangkan pembangkit listrik mulut tambang. Pembangkit listrik dibangun di dekat mulut tambang, sehingga memperkecil biaya produksi listrik. PLTU batubara dapat menggunakan batubara kalori rendah.

Untuk meningkatkan efisiensi dan sistim pembakaran batubara, serta sebagai upaya untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, maka telah dikembangkan sistim peralatan yang mampu memisahkan gas-gas polutan seperti SOx dan NOx dalam gas buang dari pembakaran batubara. Pemisahan polutan dapat dilakukan menggunakan penyerap batu kapur atau $Ca(OH)_2$. Gas buang dari cerobong dimasukkan ke dalam fasilitas *flue-gas desulfurization* (FGD). Ke dalam alat ini kemudian disemprotkan udara sehingga SO_2 dalam gas buang teroksidasi oleh oksigen menjadi SO_3. Gas buang selanjutnya didinginkan menggunakan air, sehingga SO_3 bereaksi dengan air (H_2O) membentuk asam sulfat (H_2SO_4). Asam sulfat selanjutnya direaksikan dengan $Ca(OH)_2$ sehingga diperoleh hasil pemisahan berupa gipsum. Gas buang yang keluar dari sistim FGD sudah terbebas dari oksida sulfur.

Reaktor gasifikasi batubara di pabrik tekstil, Banjaran, Bandung, Jawa Barat. (http://gorgeous.indonetwork.co.id/)

Hasil sampingan berupa gipsum sintetis memiliki senyawa kimia yang sama dengan gipsum alam. Selain berfungsi mengurangi sumber polutan penyebab hujan asam, gipsum yang dihasilkan memiliki nilai ekonomi.

Peralatan berteknologi tinggi lain yang kini mulai dipakai untuk menjinakkan polutan penyebab hujan asam adalah *electron beam machine* atau mesin berkas elektron (MBE). Prinsip kerja alat ini adalah menghasilkan berkas elektron dari filamen logam tungsten yang dipanaskan. Berkas elektron selanjutnya difokuskan dan dipercepat dalam tabung akselerator vakum bertegangan tinggi 2 juta volt. Jika gas buang yang mengandung polutan sulfur dan nitrogen diirradiasi dengan berkas elektron dalam

suatu tempat yang mengandung gas ammonia, sulfur, dan nitrogen dapat berubah menjadi ammonium sulfat dan ammonium nitrat.

Proses pembersihan gas buang, diawali dengan mendinginkan SO_x dan NO_x dengan semburan air (H_2O). Ke dalam campuran senyawa ini selanjutnya ditambahkan gas ammonia dan dialirkan ke dalam tabung pereaksi, selanjutnya diirradiasi dengan berkas elektron. Karena mendapatkan tambahan energi dari elektron itu, maka gas-gas polutan akan berubah, SO_x menjadi SO_3 dan NO_x menjadi NO_3.

Masih dalam pengaruh irradiasi elektron, kedua senyawa tersebut bereaksi dengan air sehingga dihasilkan produk antara berupa asam sulfat dan asam nitrat. Selanjutnya setelah proses irradiasi, asam sulfat dan asam nitrat bereaksi dengan ammonia sehingga dihasilkan produk akhir berupa ammonium sulfat dan ammonium nitrat. Kedua senyawa ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk sulfat dan pupuk nitrogen.

Selain tersebut di atas, hasil sampingan dari pembangkitan tenaga listrik PLTU batubara adalah abu batubara. Pada awalnya abu ini merupakan limbah yang tidak bisa dimanfaatkan lagi, akan tetapi saat ini merupakan bahan yang dapat dimanfaatkan secara komersial. Abu batubara berbentuk partikel halus amorf dan bersifat pozzolan, dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dengan media air membentuk senyawa yang bersifat mengikat.

Abu batubara yang dihasilkan oleh Unit Bisnis Pembangkit Suralaya dari pembangkit 3400 MW, adalah 1200 ton perhari dengan kehalusan 200 mesh. Abu batubara tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan batako, conblock, semen, bahan keramik, dan pupuk.

Gasifikasi Batubara

Gas batubara yang dapat terbakar berasal dari batubara yang diperoleh secara alami di tempat batubara terbentuk atau gas buatan dari batubara atau pun gas hasil proses gasifikasi batubara di bawah tanah. Gas batubara dapat digunakan untuk bahan bakar dengan komposisi 50% hidrogen, 30% metan, 8% karbon monoksida, 4% hidrokarbon lain dan 8% campuran karbon dioksida, nitrogen, serta oksigen.

Gasifikasi batubara adalah proses untuk mengubah batubara menjadi gas sintetis biasanya metan. Setelah proses pemurnian gas-gas berupa karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2), hidrogen (H), metan (CH_4), dan nitrogen (N_2), dapat digunakan sebagai bahan bakar. Menggunakan udara dan uap air sebagai pereaksi gas, dihasilkan *water gas* atau *coal gas*. Gasifikasi mempunyai tingkat emisi udara, kotoran padat dan limbah rendah.

Perubahan batubara menjadi gas dilakukan dengan mereaksikan batubara, udara, dan uap dalam sebuah tabung vertikal. Proses ini dikembangkan untuk memproduksi gas yang setara dengan gas air, dengan menggunakan uap dan oksigen murni sebagai reaktan. Proses selanjutnya adalah memadukan batubara, oksigen murni, dan uap dengan tekanan tinggi untuk menghasilkan gas yang bisa diubah menjadi gas alam sintetis.

Proses modern, dilakukan dengan memasukkan batubara dalam tabung vertikal, bagian atas tabung bersama udara sedangkan uap dimasukkan di bagian bawah. Gas, udara, dan uap naik ke atas tabung dan memanaskan batubara dan bereaksi menghasilkan gas. Abunya dipisahkan di bagian dasar tabung. Dua proses lain biasa dikomersialkan dilakukan dengan mereaksikan serbuk batubara dengan uap dan oksigen.

Dengan mengoperasikan reaktor gasifikasi batubara skala kecil, pemakaian BBM yang bisa dihemat untuk industri tekstil sampai dengan 60%. Bauran antara gas dari batubara hasil proses gasifikasi dengan solar, sebagai bahan bakar PLTD sistem *dual fuel,* bahan bakar yang dipergunakan adalah 65% gas dari hasil proses gasifikasi dan 35% solar, biaya produksi listrik bisa ditekan mencapai 52%.

Underground Coal Gasification

Proses *Underground Coal Gasification (UCG)* hampir serupa dengan proses gasifikasi pada reaktor

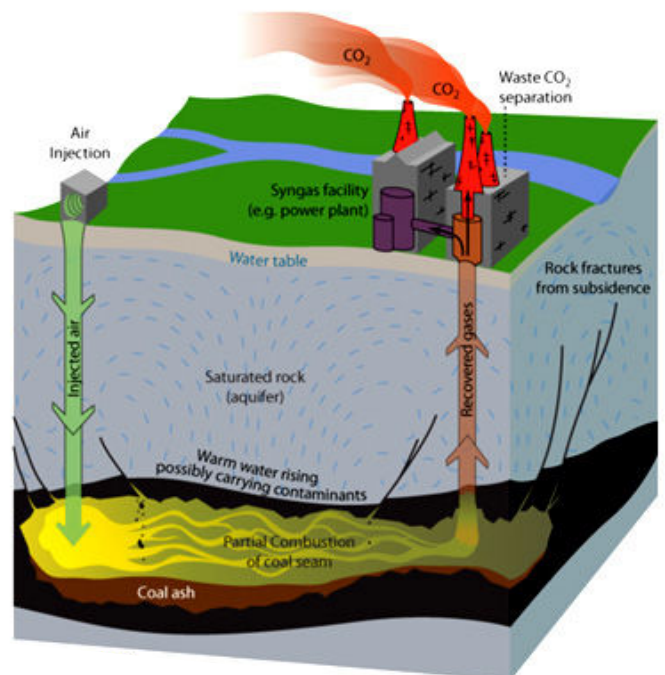
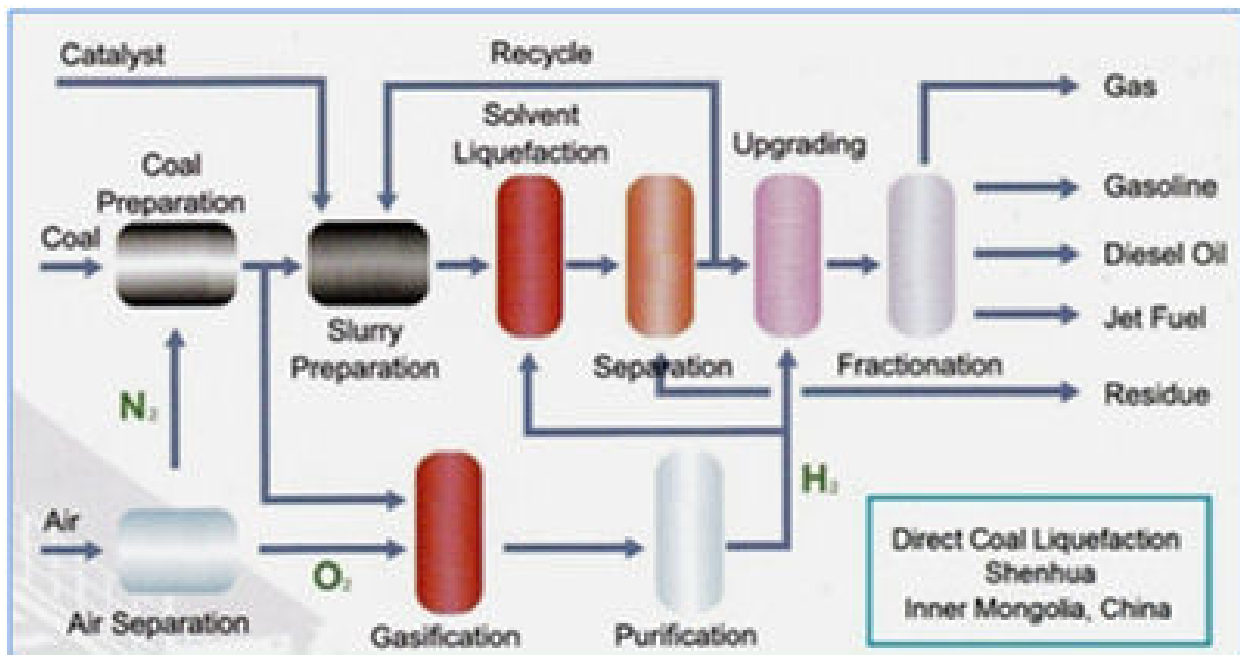



Diagram *Underground Coal Gasification*

(Sumber: http://en.wikipedia.org/wiki/File:UCGprocessfigure-01.png)

Skema pencairan batubara secara langsung di Shenhua, Mongolia Dalam, China.

di permukaan, hanya saja proses ini berlangsung di bawah tanah. Metode UCG akan mengurangi risiko dari penambangan dan meminimalkan dampak terhadap degradasi lingkungan. Teknologi ini berasal dari Rusia, ditemukan pada tahun 1933, mulai dipergunakan secara komersial di Donez Basin pada tahun 1954 dan di Kuznetz Basin pada tahun 1962 oleh perusahaan Podzemgaz. Teknologi UCG telah memperlihatkan hasil yang secara teknis dan komersial dapat dipertanggungjawabkan dan sangat menguntungkan.

Teknologi UCG telah diuji di berbagai negara, seperti China, Eropa, Australia, New Zealand, Rusia, dan USA. Negara China, Rusia, Australia, dan New Zealand telah memanfaatkan teknologi UCG dalam skala komersial. Di negara Rusia telah ditemukan proses skala komersial semenjak tahun 1945. Pada saat ini Rusia telah menjalankan proses komersial UCG di 12 lokasi berbeda dengan kedalaman kurang dari 200 m umumnya digunakan untuk pembangkit tenaga listrik dan industri.

UCG merupakan teknologi pemanfaatan batubara dengan mengkonversikannya secara *in-situ* menjadi bahan bakar gas dan untuk penggunaan industri kimia. Batubara yang berada di bawah tanah direaksikan dengan udara/oksigen dan *steam* yang diinjeksikan melalui sumur produksi. Di lapisan batubara bawah tanah akan terbentuk rongga dan terjadi proses gasifikasi dan kimiawi, di mana batubara tersebut akan terbakar dan menghasilkan gas. Gas ini kemudian disalurkan melalui pipa ke permukaan tanah menuju ke instalasi pengolahan gas. Sebagian gas dipergunakan sebagai bahan bakar stasiun pembangkit tenaga listrik dan sebagian lagi dipergunakan sebagai bahan sintesis (*syngas*) bahan kimia, seperti hydrogen, methanol atau bahan kimia gas lainnya.

Di Rusia jumlah batubara yang telah dimanfaatkan melalui proses gasifikasi di bawah tanah mencapai 15 juta ton, menghasilkan 50 milyar m^3 gas. Di Australia, teknologi UCG memperlihatkan hasil yang sangat baik dan sedang mempersiapkan produksi komersial di kota Chincilla, yang terletak 350 km sebelah Barat kota Brisbane.

Hasil eksperimen penggunaan teknologi UCG pada tambang yang dangkal di bawah 500 m, dari jumlah batubara sebanyak 20.000 ton dapat dihasilkan gas sebanyak 55 juta m^3 melalui proses pirolisis dan gasifikasi. Atau sama dengan 1 ton batubara menghasilkan 2.750 m^3 gas. Produksi gas sangat tergantung dari jenis batubara, kedalaman, akurasi pembuatan sumur produksi, efisiensi pengolahan gas, dan kondisi lokal lainnya. Di Cina dari tambang batubara Suncan yang mempergunakan teknologi UCG, mampu memasok 20.000 m^3 gas per hari untuk keperluan 10.000 rumah tangga dan industri dengan harga yang relatif murah.

Teknologi UCG merupakan teknologi ramah lingkungan. Beberapa keuntungan dengan menggunakan teknologi UCG, yaitu:

- Bebas dari polusi debu dan kebisingan
- Risiko polusi air yang rendah di permukaan tanah
- Mengurangi emisi gas karbon
- Minimnya pengelolaan kotoran dan bahan buangan lainnya
- Tidak ada proses pencucian batubara
- Tidak memerlukan tempat penumpukan dan transportasi

- Pemakaian ruang kegiatan yang kecil di stasiun pembangkit listrik
- Kondisi kesehatan dan keamanan yang baik
- Memungkinkan eksploitasi dan pemanfaatan batubara yang lebih besar
- Biaya investasi teknologi UCG lebih rendah dibandingkan dengan penambangan konvensional
- Gas produksi UCG dapat mengurangi biaya operasional pembangkit tenaga listrik, biaya produksi hanya sekitar 1,5 sen dollar AS per kWh.
- Pemakaian gas dan produk-produk UCG dapat menggantikan gas alam dan minyak bumi.

Pencairan Batubara

Batubara dikonversi menjadi bahan bakar cair, hasilnya dapat berupa bensin, disel, avtur, dan juga gas. Terdapat dua metode untuk mengkonversi batubara menjadi bahan bakar cair, yaitu *direct liquefaction dan indirect liquefaction.* Metode *direct liquefaction*, batubara dilarutkan pada temperatur dan tekanan tinggi. Proses ini sangat efisien. Pada metode *Indirect liquefaction*, batubara digasifikasi untuk membentuk *syngas* (campuran hidrogen dan karbon monoksida). *Syngas* tersebut selanjutnya dikondensasi dengan menggunakan katalis untuk menghasilkan produk berkualitas tinggi.

Bahan bakar cair turunan batubara ini memiliki sifat bebas sulfur, berkadar partikulat rendah, dan berkadar nitrogen oksida rendah. Biaya produksi batubara cair sekitar 15 dollar AS tiap barel, sedangkan biaya untuk minyak bumi 23 dollar AS. Jenis batubara yang digunakan jenis kalori rendah, kurang dari 5100 kal/gr. Satu ton batubara dapat menghasilkan 6,2 barel minyak, yang bisa digunakan untuk bahan bakar pesawat terbang, gasolin, untuk mesin disel, dan bahan bakar minyak biasa.

Pabrik pencairan batubara Shenhua di Ordos, Inner Mongolia merupakan yang pertama di dunia memproduksi dalam jumlah besar secara komersial. Kapasitas produksi 5 juta ton, dibangun dalam dua tahap. Tahap pertama telah berjalan dengan kapasitas 3,2 juta ton terdiri dari 54 bagian, memproduksi minyak dan bahan kimia sebesar 1,08 juta ton per tahun yang terdiri dari 70% minyak disel, 20% naphtha, 10% LPG, dan produk minor yang lain.

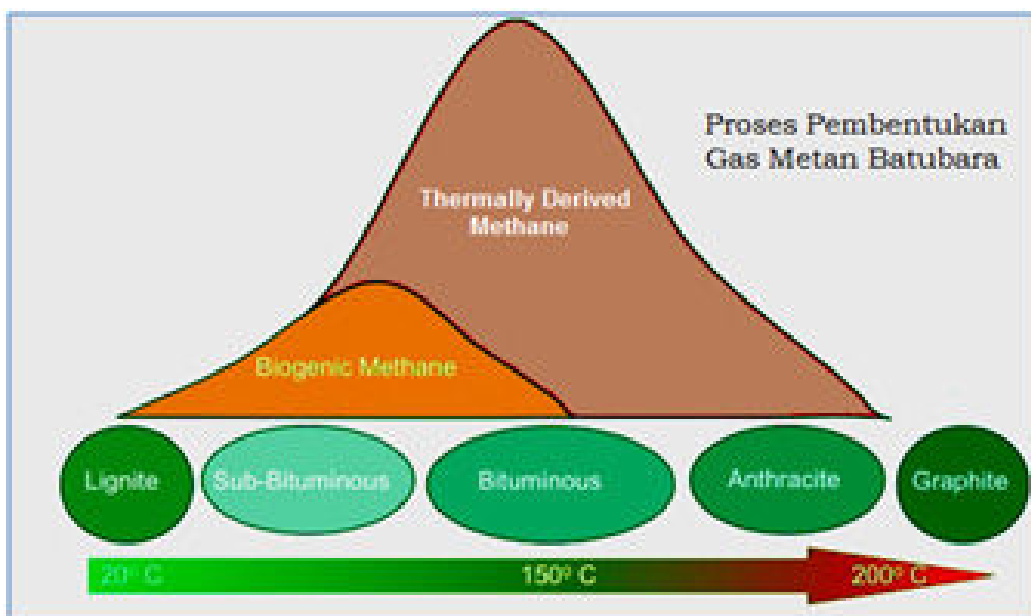
Di Indonesia, proyek pertama semi komersial pencairan batubara dibangun di tambang batubara milik Arutmin di Satui, Kalimantan Selatan. Kebutuhan batubara untuk pabrik ini didapatkan dari tambang setempat sejumlah 2,5 juta ton per tahun. Pabrik semi komersial ini berkapasitas 13.500 barel per hari ini. Untuk jenis gasoline dan diesel yang dihasilkan akan dijual dengan harga sekitar 35 dollar AS per barel. Setelah semi komersial, akan berlanjut ke tahap komersial dengan kapasitas 27.000 barel per hari yang mulai dibangun 2013 dan beroperasi 2017.

Sebelas jenis produk utama dan sampingan hasil pencairan batubara

Gambar pada latar belakang penulis, pabrik pencairan batubara Shenhua di Ordos, Inner Mongolia, China

Target selanjutnya adalah pembangunan enam pabrik yang masing-masing berkapasitas 27.000 barel per hari dengan kebutuhan total investasi 9,6 miliar dolar AS. Operasi keenam pabrik diharapkan pada 2025. Dengan demikian pada 2025, produksi batubara cair mencapai 189.000 barel per hari. Batubara yang dibutuhkan untuk produksi dengan berkapasitas 27.000 barel per hari mencapai lima juta ton per tahun. Kualitas batubara cair yang dihasilkan sama dengan minyak mentah, dengan harga jual bisa lebih murah 50 persen dibandingkan BBM biasa.

Untuk merealisasikan pabrik komersial tersebut melibatkan konsorsium beberapa perusahaan, yaitu PT Adaro Indonesia, PT Jurong Barutama Greston, PT Bumi Resources Tbk, PT DHB Power, PT Bayan Resources, PT Ilthabi Bara Utama, PT Rekayasa Industri, PT Tambang Batubara Bukit Asam Tbk, PT Berau Coal, PT Pertamina, dan AES Asia and Middle East. Teknologi batubara cair yang digunakan adalah *Brown Coal Liquefaction (BCL).* Pertamina akan menjadi pembeli produksi dari pabrik tersebut.

Proses pencairan batubara merupakan investasi masa depan. Sumber daya migas semakin sedikit, sementara sumber daya batubara di Indonesia sangat besar. Batubara tidak bisa tidak akan menjadi andalan di masa depan, saat sumber daya minyak mulai

Skema proses pembentukan gas metan batubara.

menurun. Diharapkan batubara cair mampu menyumbang dua persen dalam bauran energi secara nasional pada tahun 2025.

Upgrade Brown Coal

Berdasarkan prosesnya, beberapa metode upgrading batubara diantaranya adalah teknik evaporasi, teknik non evaporasi, serta *mechanical dewatering.* Teknologi *Upgraded Brown Coal (UBC)* yang merupakan bagian dari teknik evaporasi, di Indonesia sudah memasuki tahap demonstration plant.

Karakteristik batubara muda yang khas adalah kadar air tinggi dan kalorinya rendah. Selain menyebabkan efisiensi pembakaran yang rendah, keadaan ini akan mengakibatkan biaya angkut per kalorinya menjadi tinggi. Disamping itu, batubara jenis ini dalam kondisi kering juga mudah mengalami swabakar. Oleh karena itu dari segi penanganan, misalnya pengangkutan jarak jauh maupun penumpukan dalam jangka waktu lama di stock yard, batubara kualitas muda kurang memiliki nilai ekonomis, sehingga mayoritas pemanfaatannya selama ini adalah untuk bahan bakar PLTU mulut tambang.

Aliran air yang terdapat dalam akuifer batubara dapat memperbaharui aktivitas bakteri, sehingga gas biogenik dapat berkembang.

Meskipun demikian, bukan berarti batubara muda ini tidak prospektif sama sekali. Batubara muda memiliki keunggulan dari aspek lingkungan, seperti kadar abu dan sulfur yang rendah. Selain itu, keterdapatannya umumnya dekat permukaan tanah, sehingga nisbah pengupasan rendah. Dengan semakin berkurangnya cadangan batubara bituminus yang layak tambang ditambah dengan cadangan batubara muda yang melimpah, maka upaya pemanfaatan batubara muda menjadi lebih prospektif.

Upaya pemanfaatan batubara muda dengan melakukan *upgrading* melalui berbagai teknik *dewatering* atau reformasi sudah banyak dilakukan sejak lama. Teknologi UBC adalah teknik memanaskan dan membuang air pada batubara di dalam media minyak yang bahan utamanya adalah minyak ringan, dan bersamaan dengan itu mengabsorpsikan minyak berat seperti aspal ke dalam pori batubara. Minyak berat tadi sebelumnya ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam media minyak, kurang lebih 0,5wt%. Melalui pemrosesan di dalam media minyak ini, tidak hanya kalorinya yang naik, tetapi menghasilkan juga sifat anti air dan penurunan kecenderungan swabakar pada produk yang dihasilkannya. Hasilnya, batubara yang semula kandungan kalorinya sekitar 5100 kkal/gr bisa ditingkatkan menjadi 6000 kkal/gr.

Batubara bahan *Biorenewable Energy*

Gas dalam batubara merupakan gas alam yang terjadi pada lapisan batubara, terdapat dalam mikropori batubara dalam bentuk terkondensasi karena proses serapan fisika dari batubara. Berbeda dengan gas alam konvensional yang terjadi karena migrasi ke lapisan reservoir. Gas metan batubara (CH_4) adalah gas terperangkap dan terserap di dalam pori-pori batubara selama proses pembatubaraan.

Proses pembatubaraan diawali oleh pertumbuhan tanaman pembentuk batubara di lingkungan rawa. Tumbuhan tersebut kemudian mati dan terbenam. Sisa-sisa tumbuhan yang mati tersebut akan membentuk suatu lapisan dan terawetkan melalui proses biokimia. Gas dalam batubara akan terbentuk secara biogenik akibat dekomposisi oleh mikroorganisme, menghasilkan gas metan dan CO_2. Selama proses pembentukan batubara, sejumlah air dihasilkan bersama-sama dengan gas. Pada tahap pembatubaraan yang lebih tinggi, tekanan dan temperatur juga semakin tinggi, batubara yang kaya akan kandungan karbon, akan melepaskan kandungan zat terbangnya (*volatile matter*) seperti metan, CO_2, dan air. Pada kondisi ini gas dalam batubara akan terbentuk secara termogenik.

Gas metan biogenik terbentuk akibat aktivitas mikroorganisme yang biasa terdapat di rawa gambut dan terbentuk pada fasa awal proses pembatubaraan, pada temperatur rendah. Gas biogenik terjadi pada dua tahap, yaitu tahap awal dan tahap akhir dari proses pembatubaraan. Pembentukan gas pada tahap awal diakibatkan oleh aktivitas organisme, yaitu pada tahap awal pembentukan batubara mulai dari gambut, lignit, hingga subbituminus. Pembentukan gas ini perlu disertai dengan proses pengendapan yang cepat, sehingga gas tidak keluar ke permukaan.

Pembentukan gas pada tahap akhir diakibatkan oleh aktivitas mikroorganisme juga, tetapi pada tahap ini lapisan batubara telah terbentuk. Batubara umumnya bersifat sebagai akuifer. Aktivitas mikroorganisme dalam akuifer dapat memproduksi gas biogenik. Gas biogenik dari lapisan batubara subbituminus berpotensi menjadi gas metan batubara. Gas biogenik tersebut terjadi oleh adanya reduksi bakteri dari CO_2, hasilnya berupa metanogen, bakteri anaerobik yang kuat, menggunakan H_2 yang tersedia untuk mengkonversikan asetat dan CO_2 menjadi metan sebagai produk sampingan dari proses metabolismenya, sedangkan beberapa metanogen membuat amina, sulfida, dan metanol untuk memproduksi metan.

Lokasi penambangan batubara di Tanjung Enim, Sumatra Selatan.
Foto: Gunawan

Aliran air yang terdapat dalam akuifer batubara dapat memperbaharui aktivitas bakteri, sehingga gas biogenik dapat berkembang. Pada kondisi penimbunan maksimum, dan temperatur lapisan batubara 40-90°C, merupakan lingkungan ideal bagi bakteri metan. Metan terbentuk pada air tanah/formasi. Apabila air tanah turun, tekanan pada reservoir turun, maka gas metan batubara bermigrasi menuju reservoir dari lapisan batubara. Perulangan kejadian ini merupakan regenerasi dari gas biogenik.

Nutrisi berupa larutan non organik dan batubara, dapat merangsang aktivitas bakteri untuk membentuk gas metan. Dalam skala besar nutrisi non organik bisa diinjeksikan ke dalam lapisan batubara untuk merangsang pembentukan metan melalui aktivitas bakteri yang sudah ada. Dengan pemberian nutrisi ini, disamping gas metan yang telah terbentuk ribuan tahun lalu sebagai hasil dari proses pembatubaraan, melalui rekayasa bioenergi dapat dihasilkan juga gas metan yang baru, sebagai hasil aktivitas bakteri metanogen yang ada dalam air formasi. Selama batubara ada dan selama kita bisa memberikan nutrisi, gas metan dapat terbentuk secara berkesinambungan. Proses pembentukan gas mentan dengan rekayasa bioenergi ini akan menghasilkan energi terbarukan, sehingga potensi batubara yang demikian besar memberikan peluang untuk menghasilkan energi baru dan terbarukan.

Potensi besar batubara di Indonesia mengundang tantangan bagi kita untuk lebih arif memperlakukan sumber daya alam yang proses pembentukannya memerlukan waktu sekitar 30 juta tahun tersebut. Batubara Indonesia menjadi incaran bagi banyak negara seperti Jepang, Korea, India, dan China. Dua negara terakhir mempunyai potensi batubara jauh lebih besar dibandingkan Indonesia, akan tetapi meskipun sumber daya batubara di dalam negerinya masih melimpah, batubara Indonesia mengundang minat mereka untuk ikut serta mengeksploitasi.

Akumulasi nilai tambah berlipat ganda sumber daya batubara tidak terjadi di tempat batubara terbentuk, melainkan di pasar atau tempat komoditas dimanfaatkan. Oleh karena itu pemenuhan kebutuhan energi murah di dalam negeri dari sumber daya batubara harus menjadi prioritas utama dari tujuan eksploitasi batubara, selain pengolahan batubara untuk mendapatkan nilai tambah berlipat ganda, menjadi tantangan yang tidak dapat ditunda untuk segera direalisasikan. ■

Penulis adalah Kepala Bidang Program dan Kerjasama, Pusat Sumber Daya Geologi - Badan Geologi

Super Volcano Krakatau 535 M & Perubahan Peradaban Dunia

Oleh: Oki Oktariadi

Gambar 1. Ilustrasi letusan Gunung Krakatau Purba.
http://vampirehigh.org/Eclipse.html

"Bumi berguncang keras disusul dengan letusan yang menggelegar. Letusan Krakatau tahun 535 itu berlangsung sepuluh hari, dengan letusan puncaknya selama 34 jam. Debu halus, pasir, krikil, hingga bom sebanyak 200 km^3, dilontarkan ke stratosfer, menutupi cahaya matahari, sehingga hampir seluruh langit gulita. Di khatulistiwa, suhu turun 10^o C, telah menyebabkan terjadinya perubahan peradaban secara global. Karena begitu banyaknya material yang diledakkan, terjadilah kekosongan di dalam, menyebabkan tubuh gunung ini ambruk, menghasilkan kaldera 40 km x 60 km dan membentuk Selat Sunda."

David Keys, seorang arkeolog dan koresponden koran "*The Independent*" London, meluncurkan sebuah buku berjudul *"Catastrophe: An Investigation into the Origins of the Modern World" (1999).* Ada hal yang menarik dalam buku tersebut, yaitu kesimpulannya bahwa Krakatau pernah meletus tahun 416 M atau 535 M dan implikasinya terhadap terjadinya perubahan peradaban dunia secara global. Dalam hal ini Keys merujuk pada catatan sejarah sebagai berikut: Angka 416 M dikutip dari sebuah teks Jawa kuno berjudul 'Pustaka Raja Purwa' yang bila diterjemahkan bertuliskan: *"Ada suara guntur yang menggelegar berasal dari Gunung Batuwara. Ada goncangan Bumi yang menakutkan, kegelapan total, petir dan kilat. Lalu datanglah badai angin dan hujan yang mengerikan dan seluruh badai menggelapkan seluruh dunia. Sebuah banjir besar datang dari Gunung Batuwara dan mengalir ke timur menuju Gunung Kamula. Ketika air menenggelamkannya, pulau Jawa terpisah menjadi dua, menciptakan pulau Sumatra*". Menurut buku Pustaka Raja Parwa tersebut, tinggi Krakatau Purba ini mencapai 2.000 m dpl dengan lingkaran pantainya mencapai 11 km.

Gambar 2. Buku Pustaka Raja Purwa yang memuat keterangan mengenai letusan gunung api yang sangat dahsyat.

Gambar 3. Tempat jejak-jejak ion belerang yang berasal dari asam belerang gunung api Krakatau Purba yang ditemukan pada contoh-contoh batuan inti (*core*) di lapisan es Antarktika dan Greenland, (Keys, 1999).

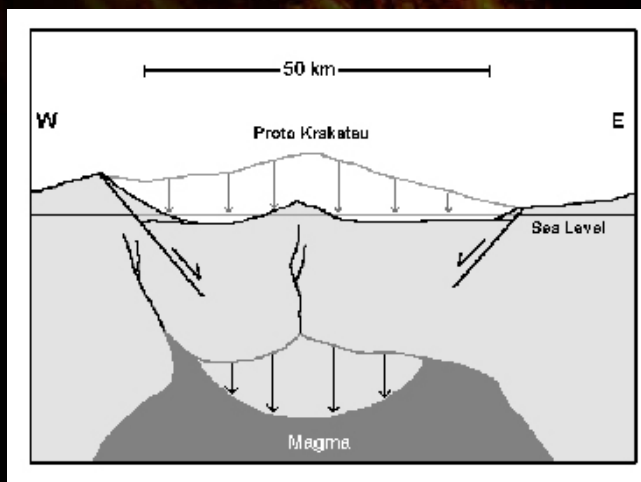
Di tempat lain, seorang bishop Suriah, John dari Efesus, menulis sebuah *chronicle* di antara tahun 535 – 536 M. Adapun isi dari *chronicle* yang tercatat adalah: *"Ada tanda-tanda dari Matahari, tanda-tanda yang belum pernah dilihat atau dilaporkan sebelumnya. Matahari menjadi gelap, dan kegelapannya berlangsung selama 18 bulan. Setiap harinya hanya terlihat selama empat jam, itu pun samar-samar. Setiap orang mengatakan bahwa Matahari tak akan pernah mendapatkan terangnya lagi"*. Dokumen lainnya dari Dinasti Cina mencatat: *"suara guntur yang sangat keras terdengar ribuan mil jauhnya ke barat daya Cina"*.

Catatan sejarah tersebut, selanjutnya divalidasi dengan data hasil penelitian Krakatau Purba dari Berend George Escher dan Verbeek juga didukung beragam dokumen sejarah dari Nusantara, Siria, dan Cina tentang sebuah bencana yang sangat dahsyat terjadi di abad 5 atau 6 Masehi dan mengakibatkan Abad Kegelapan di seluruh dunia. Batuan inti (*Ice Cores*) di lapisan es Antartika dan Greenland juga mencatat jejak ion sulfat vulkanik berumur 535-540 M dan diperkirakan kiriman bencana dahsyat Gunung Purna Krakatau. Jejak-jejak belerang gunung api Krakatau pun tersebar di kedua belahan Bumi selatan dan utara (Gambar 3).

Berdasarkan informasi tersebut di atas, maka Keys mengajukan sebuah hipotesis bahwa Krakatau pernah meletus pada tahun 535 M dan letusan itu menghasilkan dampak bencana yang dirasakan di seluruh dunia sebagai peristiwa tragedi besar yang mampu merubah bentuk fisik alam dengan terbentuknya Selat Sunda dan terjadinya perubahan peradaban secara global. Selanjutnya Keys menyusun sebuah rangkaian kejadian letusan Krakatau tahun 535 M, sebagai berikut:

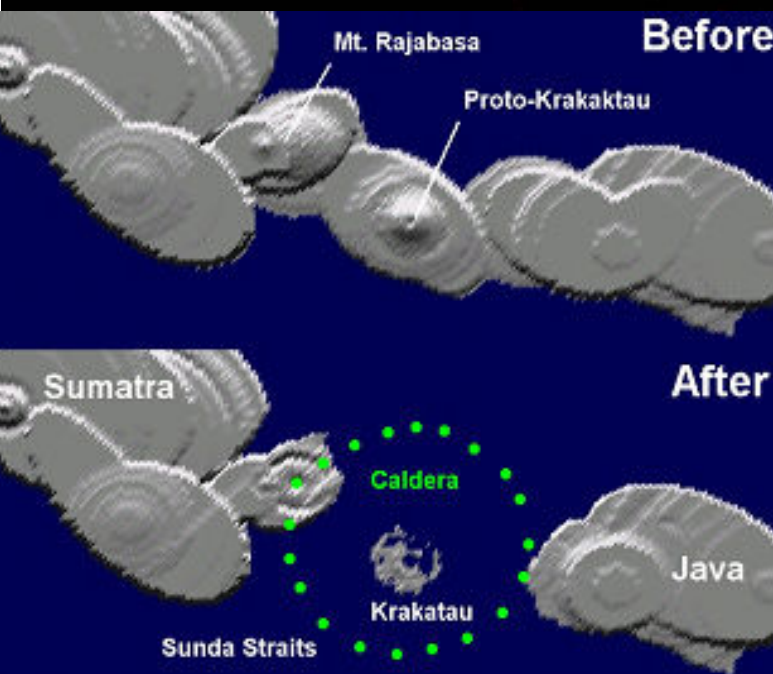
1. Gempa bumi. Tanda awal reaksi gunung api. Tanda awal ini sudah dirasakan sampai Batavia (Jakarta);
2. Letusan bak guntur yang menggelegar. Letusan ini menghasilkan suara hingga terdengar sampai Australia. Letusan ini juga menghasilan gelombang kedap udara yang lazim terjadi pada ledakan bom sehingga menghasilkan korban jiwa;
3. Letusan yang dihasilkan dari pecahnya kaldera melontarkan ribuan kubik material (pijar) ke lapisan Stratosfer. Fragmen bebatuan panas ini kemudian ditemukan pada bongkahan es Greenland dan Antartika;
4. Ledakan yang besar itu mengguncang tanah sehingga ambles dan memisahkan daratan Jawa dan Sumatra dan terbentuklah selat Sunda;
5. Bebatuan berbagai ukuran, debu, pasir, krikil, hingga bom, yang terlontar ke Stratosfer menjadikan hampir seluruh langit bumi gelap dan menutupi cahaya matahari. Suhu udara di bumi turun mencapai 10 derajat di ekuator. Turunnya suhu dan minimnya matahari menjadikan bumi tak ubahnya planet Venus. Komponen vegetasi di bumi rusak sehingga cadangan makanan menjadi minim. Kejadian itu selanjutnya mengakibatkan pergolakan sosial dalam memperebutkan cadangan makanan.
6. Apabila kita setuju dengan pendapat mengenai Letusan Krakatau 535 M tersebut di atas, maka beberapa kejadian perubahan fisik dan peradaban yang merupakan dampak dari letusannya.

Pembentukan Selat Sunda

Beberapa hal menarik dalam tulisan Keys, 1999, di antaranya adalah hasil pemodelan yang menyatakan bahwa Pulau Jawa dan Pulau Sumatra masih menyatu sebelum letusan Krakatau pada 535 M.

Gambar 4. Penampang berarah barat – timur yang menghipotesiskan runtuhnya kaldera akibat letusan Krakatau Purba dan menyebabkan terbentuknya Selat Sunda pada abad ke-6 (Keys, 1999).

Berikut sebuah kutipan dari buku tersebut: *"A mighty thunder which was answered by a furious shaking of the earth, pitch darkness, thunder and lightning and then came forth a furious gale together with a hard rain, a deadly storm darkening the entire world, in no time there came a great flood. When the water subsided it could be seen that the island of Java had been split in two, thus creating the island of Sumatra." David Keys from Javanese writings (Book of Kings).*

(Petir menggelegar menyebabkan bumi bergetar, gelap gulita, guruh dan kilat sambar-menyambar disusul badai disertai dengan hujan deras, badai gelap mematikan seluruh dunia, dalam waktu singkat banjir besar melanda. Ketika air surut dapat dilihat bahwa pulau besar telah terbelah dua, menciptakan Pulau Jawa dan Pulau Sumatra).

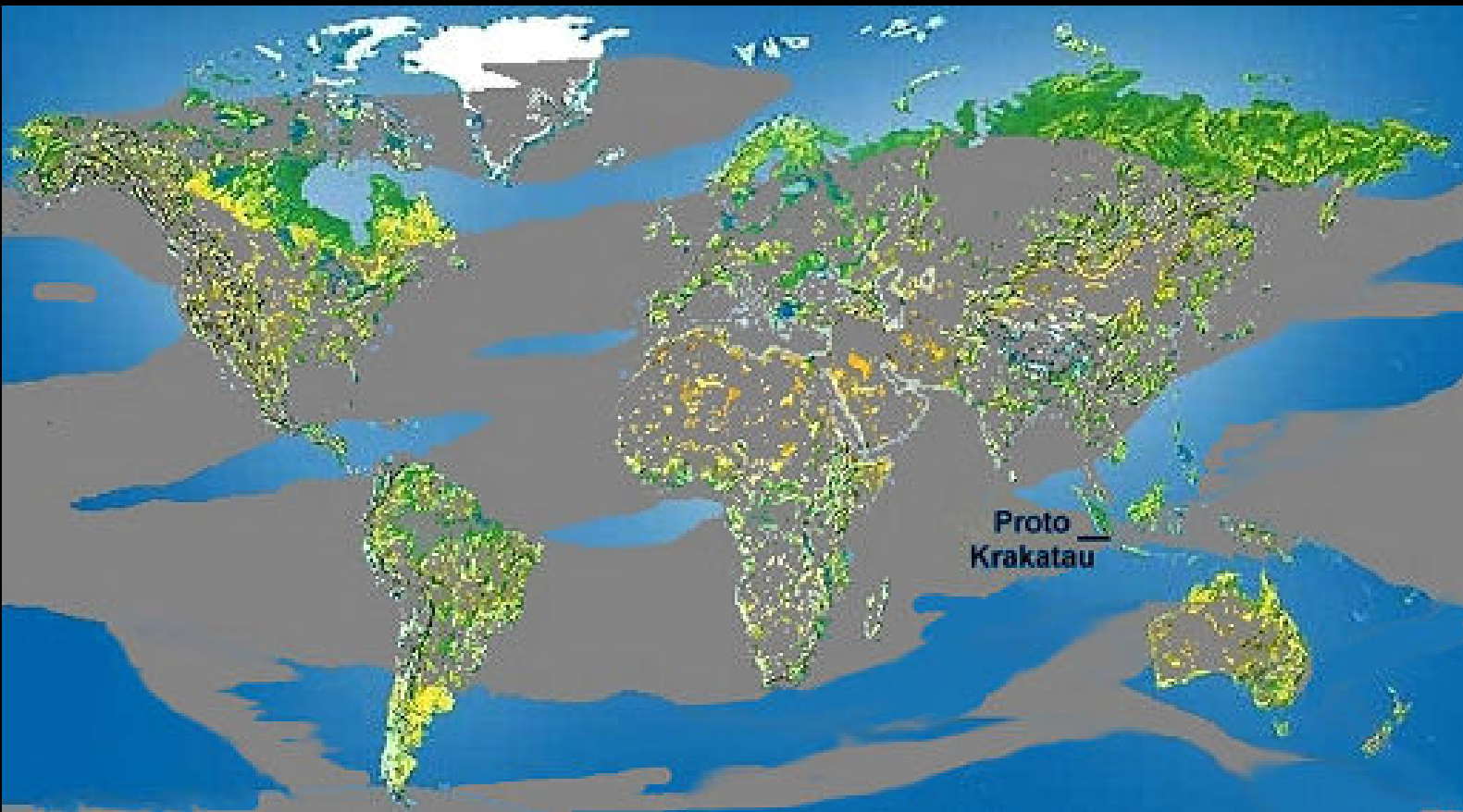
Para ahli menyetarakan letusan dahsyat (*violent eruption*) Krakatau yang mampu membentuk Selat Sunda tersebut dengan 2 milyar kali bom atom Hiroshima atau bisa 11,11 kalinya letusan Krakatau 1883 serta menghasilkan kaldera sebesar 5,7 - 8,5 kalinya kaldera Krakatau 1883.

Gambar 5. Pulau Jawa dan Sumatra ketika masih bersatu, atas. Setelah letusan dahsyat Krakatau terbentuk kaldera besar yang dan terbentuk dua pulau besar, masing-masing Pulau Sumatra dan Pulau Jawa, bawah (Keys, 1999).

Hasil pemodelan Keys tersebut telah memperkuat teori Van Bemmelen (1952) dalam "De Geologische Geschiedenis van Indonesie" menyatakan; bahwa pada saat itu sebelum tahun 1175 Gunung Krakatau belum merupakan pulau kecil seperti sekarang karena kondisinya belum memungkinkan di lewati kapal laut. Pulau-pulau besar kecil masih banyak berserakan di **Selat Sunda**. Sumatra dan Jawa masih bergandeng menjadi satu. Perbatasan antara Swarnadwipa (Sumatra) dan Jawadwipa (Jawa) pada masa itu masih berupa suatu teluk yang menjorok jauh ke pedalaman di daerah Jambi. Demikian menurut catatan para pelaut Arab dan Cina (van Bemmelen, 1952, hal. 126-127).

The Dark Age (Abad Kegelapan)

Istilah "*Dark Age*" selalu dikaitkan dengan masa kegelapan bangsa Eropa yang dimulai sejak redupnya kekaisaran Romawi pada 476 M akibat migrasi dan tekanan kaum Barbar. Keruntuhan Romawi terjadi ketika kaisar terakhir dari kekaisaran Romawi Barat, Romulus Augustus, diberhentikan oleh Odoacer, seorang Jerman (Julius Nepos) yang menjadi penguasa Itali dan meninggal pada tahun 480 M. Sejak saat itu dikatakan Eropa telah memasuki masa-masa Kegelapan (*Dark Ages*). Masa-masa Kegelapan ini berlangsung kira-kira dari tahun 476 M itu hingga masa Renaisans (1600).

Apa penyebab migrasi kaum Barbar di awal periode *Dark Age* yang terjadi di Eropa itu? Banyak jawaban yang diberikan, tapi kini argumentasi yang menguatkannya adalah letusan besar Krakatau 535 M. K. Wohletz, seorang ahli vulkanologi di Los Alamos National Laboratory, Amerika Serikat, telah melakukan serangkaian penelitian letusan Krakatau 535. Hasil simulasinya menunjukkan betapa dahsyatnya letusan itu. Letusan sebesar itu telah melontarkan 200 km^3 magma (bandingkan dengan Krakatau 1883 yang melontarkan magma sejumlah 18 km^3). Letusan Krakatau 535 M berlangsung selama sepuluh hari, tetapi letusan puncaknya berlangsung selama 34 jam dan menghasilkan kawah berukuran antara 40-60 km (Gambar 4). Kecepatan bahan yang dimuntahkan (*mass discharge*) sebesar 1 miliar kg/detik. Awan letusan (*eruption plume)* telah membentuk perisai di atmosfer setebal 20-150 m, dan menurunkan temperatur 5^0-10^0 C selama 10-20 tahun.

Bencana tersebut telah mendatangkan wabah sampar yang mendunia, gagal panen, dan revolusi. Kekurangan pangan membuat kaum Barbar bermigrasi dan menyerang kemana-mana. Pada saat itu di Eropa terjadi transmutasi Kerajaan Romawi ke Kerajaan Bizantium, kejayaan Persia Purba, dan South Arabian berakhir. Sementara di bagian dunia lainnya, misalnya di Benua Amerika seperti peradaban Nazca yang penuh teka-teki, Metropolis Teotihuacan, dan kota besar Maya Tikal berakhir. Jadi pasca letusan Krakatau 535 M tersebut membuat dunia dalam keadaan keos (*chaos*). Matahari dan bulan bersinar lebih redup karena tertutup debu vulkanik selama 18 bulan, menyebabkan perubahan iklim global.

Gambar 6. Sebuah ilustrasi awan melayang yang menutupi sebagian besar permukaan bumi dalam beberapa hari dan minggu setelah letusan Krakatau Purba (Keys, 1999).

Dampak Letusan Krakatau 535 M sangat besar dan di Eropa saat itu, istilah "*Dark Age*" bukan hanya menunjukkan "gelap" dalam arti sesungguhnya, tetapi juga menunjukkan arti lain sebagai kemunduran peradaban. Sementara di kawasan lainnya seperti di Arabia disebut periode "*Jahiliyah*". Istilah apa yang tepat untuk Indonesia? Seperti apa kira-kira yang terjadi di sini? Di Indonesia sendiri, khususnya di Jawa dan Sumatra sejarah kerajaan-kerajaan tidak ada yang lengkap atau istilah Keys adalah "*the missing link of the history*".

Keys mencontohkan di Pulau Sumatra terjadi kesenjangan (sejarah yang hilang) hampir 100 tahun, (535 – 650 M), yaitu antara kerajaan yang berbasiskan budaya Pasemah sampai kemunculannya kerajaan Sriwijaya. Sementara di Pulau Jawa kesenjangan terjadi hampir 200 tahunan (535 – 750 M), yakni antara kerajaan yang berada di Jawa bagian barat sampai kemunculan kerajaan-kerajaan di Jawa bagian tengah.

Memang secara fisik akan sangat sulit menelusuri sejarah yang hilang tersebut, karena dampak erupsi super volcano Krakatau mengakibatkan kerusakan fisik yang luar biasa beratnya termasuk hancurnya peradaban. Tentu akan sulit untuk merekontruksinya. Namun sebetulnya sejarah itu tidak hilang apabila mengacu pada silsilah raja-raja di tanah Sunda menurut naskah-naskah Pangeran Wangsakerta. Menurut naskah Wangsakerta tersebut jaman keemasan Tarumanagara terjadi pada masa Raja Purnawarman (395-434) yang mampu memperluas wilayah Tarumanagara, dan banyak diabadikan di dalam bentuk Prasasti. Prasasti terpenting yang mengabarkan keberadaan Purnawarman dimuat dalam prasasti Ciaruten, menjelaskan: "*Kedua jejak telapak kaki yang seperti jejak telapak kaki Wisnu ini kepunyaan penguasa dunia yang gagah berani yang termashur Purnawarman raja Tarumanagara*".

Pada jaman itu pula, masalah hubungan diplomatic ditingkatkan. Sehingga wajar jika Pustaka Nusantara menyebutkan bahwa kekuasaan Purnawarman saat membawahi 48 raja daerah yang membentang dari Salakanagara atau Rajatapura (di daerah Teluk Lada Pandeglang) sampai ke Purwalingga (Purbolinggo) di Jawa Tengah. Dikemudian hari secara tradisional Ci Pamali (Kali Brebes) dianggap batas kekuasaan raja-raja penguasa Jawa Barat pada masa silam, demikian juga pada masa Manarah dan Sanjaya di Galuh.

Langkah-langkah pengembangan Tarumanagara oleh Purnawarman secara terperinci diuraikan di

dalam Pustaka Pararatvan I Bhumi Jawadwipa. Seperti usaha memindahkan ibukota kerajaan kesebelah utara ibukota lama, di tepi kali Gomati, dikenal dengan sebutan Jayasingapura. Kota tersebut didirikan Jayasingawarman, kakeknya. Kemudian diberi nama Sundapura (kota Sunda). Ia pun pada tahun 398 sampai 399 M mendirikan pelabuhan di tepi pantai. Pelabuhan ini menjadi sangat ramai oleh kapal-kapal kerajaan Tarumanagara.

Dari model rekonstruksi Keys yang menggambar-kan pulau Sumatera dengan Pulau Jawa masih bersa-tu sebelum erupsi super volcano Krakatau 535, maka perpindahan ibu kota Kerajaan Tarumanagara dari Teluk Lada Pandeglang ke Sundapura secara geologi dapat dipahami, yakni:

Kegiatan perdagangan Kerajaan Tarumanagara sangat tergantung pada jalur pelayaran Samudera Hindia, sementara akses menuju Selat Malaka dan Laut Jawa tidak ada, walaupun ada celah-celah sempit Selat Sunda, namun kemungkinan hanya dapat dilayari kapal laut kecil.

Kegiatan perdagangan di sekitar Salakanegara sangat terganggu akibat aktivitas Gunung Krakatau Purba terus meningkat, sehingga banyak kegiatan perdagangan melalui laut lebih memilih jalur Selat Malaka untuk mendapatkan sumber daya rempah-rempah di Kepulauan Al Mulk (Maluku).

Dengan kondisi seperti itu efektivitas perdagangan Tarumanagara menjadi terganggu. Tentu saja Purnawarman sebagai Raja Tarumanagara memiliki inisiatif mencari wilayah untuk mempertahankan perekonomian kerajaan dengan melebarkan sayap perdagangan ke daerah yang aman dan berisiko minimal. Pilihannya adalah wilayah Sundapura yang berada di zona gempa ringan dengan potensi sumber daya air berlimpah, dan sumber daya tanah yang subur. Perpindahan ibukota pun kemungkinan terjadi secara alamiah sesuai perkembangan perekonomian kerajaan. Kajayaan tersebut berlanjut terus sampai pada masa raja Candrawarman (515-535 M).

Sampailah pada tahun 535 M, Gunung Krakatau Purba meletus dan pata tahun itu pun Raja Candrawarman wafat. Peristiwa ini merupakan awal memudarnya Kerajaan Tarumanegara seperti yang diberitakan melalui Prasasti Purnawarman di Pasir Muara. Prasasti tersebut menceritakan peristiwa pengembalian pemerintahan daerah kepada Raja-Raja Sunda yang di mulai pada tahun 536 M, sehingga terjadi perubahan status bahwa Ibukota Sundapura pada waktu itu telah berubah status menjadi sebuah kerajaan daerah. Hal ini berarti, pusat pemerintahan Tarumanagara telah bergeser ke tempat lain. Sama halnya dengan kedudukaan Salakanagara (kota Perak), yang disebut *Argyre* oleh Ptolemeus dalam tahun 150 M. Kota ini sampai tahun 362 menjadi pusat pemerintahan Raja-raja Dewawarman (dari Dewawarman I - VIII). Ketika pusat pemerintahan beralih dari Salakanegara ke Tarumanagara, maka Salakanagara berubah status menjadi kerajaan daerah.

Sangat mungkin letusan besar Krakatau 535 telah meluluhlantakan sebagian besar wilayah Kerajaan Tarumanagara terutama yang berada di wilayah Banten, sehingga Raja-Raja Tarumanagara pun terus disibukkan dengan bencana ikutan (sekunder) dari letusan Krakatau Purba, seperti perubahan iklim (global), gagal panen, wabah penyakit, dll. Peristiwa tersebut menyebabkan Tarumanagara kehilangan wibawa dan tidak lagi memiliki pamor. Selanjutnya satu persatu pengembalian kekuasaan kepada raja-raja daerah terus berlangsung. Akhirnya pada masa Raja Linggawarman (666-669 M) Kerajaan Tarumanagara benar benar berakhir dan yang ada hanya kerajaan-kerajaan kecil.

Periode 535-669 M atau selama 100 tahun lebih pasca letusan Krakatau Purba dapat dikatakan sebagai jaman kegelapan (*Dark Age*) di Tatar Sunda sebagaimana terjadi di bagian dunia lainnya. Data fisikpun sangat sulit diperoleh selain dari naskah-naskah kuno dan cerita rakyat. Namun dengan mulai ditemukannya situs Candi Batujaya di Kabupaten Karawang Jawa Barat, maka bukti-bukti fisik Kisah kejayaan Terumanegara lambat laun mulai terkuak dan secara perlahan kisah Kejayaan Tarumanagara akan terungkap.

PENUTUP

Dampak letusan Krakatau tahun 1883 pun tidak kalah dahsyatnya dibandingkan letusan Krakatau tahun 535 karena pertumbuhan penduduk pada tahun 1883 jauh lebih banyak. Mulai 1927 atau kurang lebih 40 tahun setelah meletusnya Gunung Krakatau 1883, muncul gunung api yang dikenal sebagai Anak Krakatau dari kawasan kaldera purba yang masih aktif dan bertambah tinggi pula. Percepatan ketinggian Anak Krakatau saat ini sekitar 20 inci (sekitar 50 cm) per bulan. Artinya setiap tahun gunung ini menjadi lebih tinggi sekitar 20 kaki (sekitar 6 m) lebih lebar 40 kaki (sekitar 13 m). Catatan lain menyebutkan penambahan tinggi sekitar 4 m per tahun dan jika dihitung, maka dalam waktu 25 tahun penambahan tinggi Anak Krakatau mencapai 100 m lebih tinggi dari 25 tahun sebelumnya. Penyebab tingginya gunung itu disebabkan oleh material yang keluar dari perut gunung baru itu. Saat ini ketinggian Anak Krakatau mencapai sekitar 230 meter di atas permukaan laut, sementara Gunung Krakatau sebelumnya memiliki tinggi 813 m dari permukaan laut.

Menurut Simon Winchester, sekalipun apa yang terjadi dalam kehidupan Krakatau yang dulu sangat

menakutkan, namun fakta-fakta geologi dan seismik di Jawa dan Sumatra yang aneh akan memastikan bahwa apa yang pernah terjadi pada suatu ketika akan terjadi kembali. Tak ada yang tahu pasti kapan Anak Krakatau akan meletus besar. Beberapa ahli geologi memprediksi letusan besar ini akan terjadi antara 2015-2083. Namun, pengaruh dari gempa di dasar Samudera Hindia seperti yang terjadi pada 26 Desember 2004 harus pula menjadi perhatian dalam mengeluarkan kebijakan.

Sementara itu, menurut Profesor Ueda Nakayama, salah seorang ahli gunung api berkebangsaan Jepang, Anak Krakatau masih relatif aman meski aktif dan sering ada letusan kecil, hanya ada saat-saat tertentu para turis dilarang mendekati kawasan ini karena bahaya lava pijar yang dimuntahkan gunung api ini. Para pakar lain menyatakan tidak ada teori yang masuk akal tentang Anak Krakatau yang akan kembali meletus dahsyat. Kalaupun ada minimal 3 abad lagi atau sesudah 2325 M. Namun, korban yang akan ditimbulkan jelas lebih besar daripada letusan sebelumnya karena semakin padatnya penduduk. Oleh karena itu, kewaspadaan menghadapi bencana harus ada pada sanubari bangsa Indonesia. Kearifan lokal tentang peringatan dini yang telah ditanamkan oleh para leluhur harus tetap dipertahankan. Demikian pula nama-nama geografis yang mencerminkan keadaan fenomena alam sekitar jangan diganti dengan nama-nama manusia yang seolah pengkultusan.

Pada akhirnya yang tersisa kekaguman, bahwa Indonesia ternyata menjadi perhatian dunia karena Krakatau. Salah satu gunung yang menjadi bagian dari keluarga besar Cincin Api Nusantara ini ternyata sangat terkenal di dunia karena pernah menjadi sebab atas berakhirnya sebagian peradaban dunia.

Letusan Krakatau yang dahsyat tersebut, ternyata di sisi lain memiliki pesona dan keunikan, sehingga layak dinobatkan sebagai *geoheritage* (warisan geologi) yang mendunia. Tentu saja nilai warisan geologi ini akan berdampak positif bila dikembangkan sebagai *geopark* Internasional atau lebih dikenal sebagai *Geopark* Jejaring Unesco. Perwujudan sebagai *geopark* tidak lain sebagai perwujudan Kejayaan Tarumanagara atau di masa kini sebagai Kejayaan Republik Indonesia. ■

Penulis adalah Fungsional Penyelidik Bumi,
Pusat Sumber Daya Air Tanah dan Geologi Lingkungan
Badan Geologi

ACUAN

Ajip Rosidi (penyunting), 2000. *Ensiklopedi Sunda: Alam, Manusia, dan Budaya Termasuk Budaya Cirebon dan Betawi.* **Pustaka Jaya.**

Keys, 1999. Catastrophe: A Quest for the Origins of the Modern World, Ballentine Books, New York).

Winchester's, S. 2003. *Krakatoa: The Day the World Exploded: August 27, 1883.*

http://www.salakanegara.com/p/mulabukaning-tatar-pasundan.html

http://mitchtestone.blogspot.com/2009/11/were-dark-ages-triggered-by-volcano.html

http://www.ees1.lanl.gov/Wohletz/Krakatau_6th_Century.pdf

http://www.vectortemplates.com/raster/globes/globes-013.png

http://kelompeta.multiply.com/photos/album/18/Gunung_Anak_Krakatau

GEO-CIRCLES MAJALENGKA:

Hantaman Meteorit Empat Juta Tahun yang Lalu?

Oleh: R.P. Koesoemadinata

Suatu penelitian sekilas pada *Google Earth Map* memperlihatkan bahwa adanya indikasi *Geo-Circles* (saya meniru istilah *crop circles* yang diberitakan di sekitar Yogyakarta) berskala besar di daerah barat daya Majalengka (Gambar 1 dan 2). Bentuk morfologi ini pernah dipetakan secara geologi oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, P3G (sekarang Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Bandung), dan ditafsirkan sebagian anjakan (*thrusting*) yang melengkung pada Lembar Arjawinangun (skala 1 : 100.000) yang diterbitkan tahun 1973 (Gambar 3 dan 4).

Namun struktur *geo-circles* ini sulit untuk dapat dijelaskan sebagai gejala tektonik, sebagai anjakan (*thrusting*) walaupun usaha untuk menjelaskan dengan tektonik longsoran (*gliding tectonics)* yang sering diajukan. Penjelasan demikian tidak memuaskan karena struktur anjakan (*thrusting*, sesar naik) yang berbentuk setengah lingkaran (*semi-circles*) ini menghadap ke semua arah penjuru angin, sehingga memerlukan keberadaan suatu pusat tinggian, yang justru tidak ada. Juga jurus tektonik regional (*regional tectonic trend*) disini ada mengarah barat laut – tenggara dan relatif tanpa gangguan. Justru pusat-pusat *geo-circles* ini merupakan cekungan, antara lain Cekungan Ci Lutung, yang dapat ditafsirkan sebagai kawah raksasa yang dibentuk karena dihantam oleh suatu rentetan beberapa meteor berukuran besar (*a train of meteors*). Gejala *geo-circles* barat daya Majalengka ini merupakan suatu kompleks kawah meteor, dan paling tidak dapat dihitung adanya lima kawah hantaman (*impact craters*) yang saling bertumpukan pada citra *Google Earth Map* ini (lihat Gambar 2).

Dasar kawah ini ditutupi oleh batuan pasir tufaan Formasi Citalang, yang ditetapkan umurnya sebagai *Pliocene*, sekitar empat juta tahun yang lalu. Dengan demikian kompleks kawah meteor tersebut berumur paling tua empat juta tahun yang lalu. Keberadaan adanya *multi-meteor craters* di satu tempat dapat dijelaskan dengan membenturnya iring-iringan meteor yang terdiri pecahan asteroid yang menghantam bumi, sebagaimana halnya dengan peristiwa yang terjadi di Jupiter beberapa tahun yang lalu, yang dibentur secara beruntun oleh *Levy-Schumacher 9,* yang terdiri dari iring-iringan sembilan buah meteor.

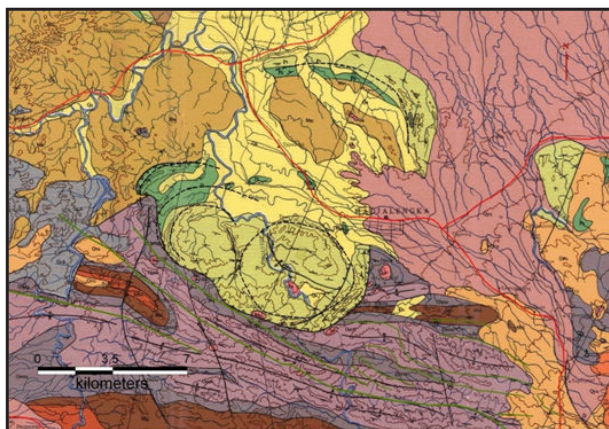
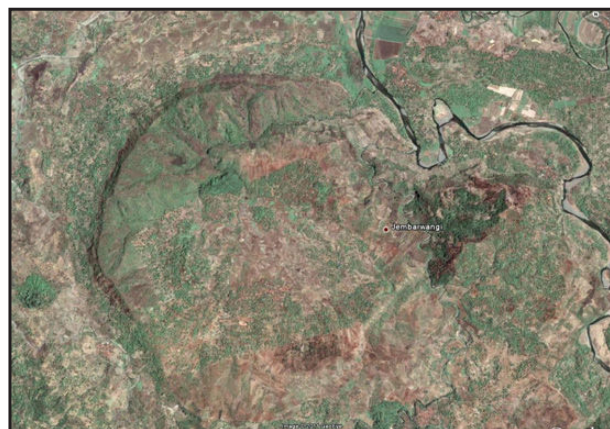
Namun demikian, penafsiran ini perlu diteliti lebih lanjut sebagai *ground-check*, atau pemeriksaan langsung di lapangan, terutama meneliti ulang susunan dan kandungan dari lapisan batuan yang membentuk dinding kawah-kawah ini. Jika diketemukan adanya pecahan batu meteorite tentu akan membuktikan kebenaran penafsiran *geo-circles* ini. *Ground check* sekilas telah dilakukan pada *semi-circle* yang paling barat, yaitu sebelah barat Ci Saar, namun ternyata dinding kawah ini ditutupi hutan yang lebat, sehingga tidak diketemukan adanya singkapan untuk mengetahui susunan batuannya.

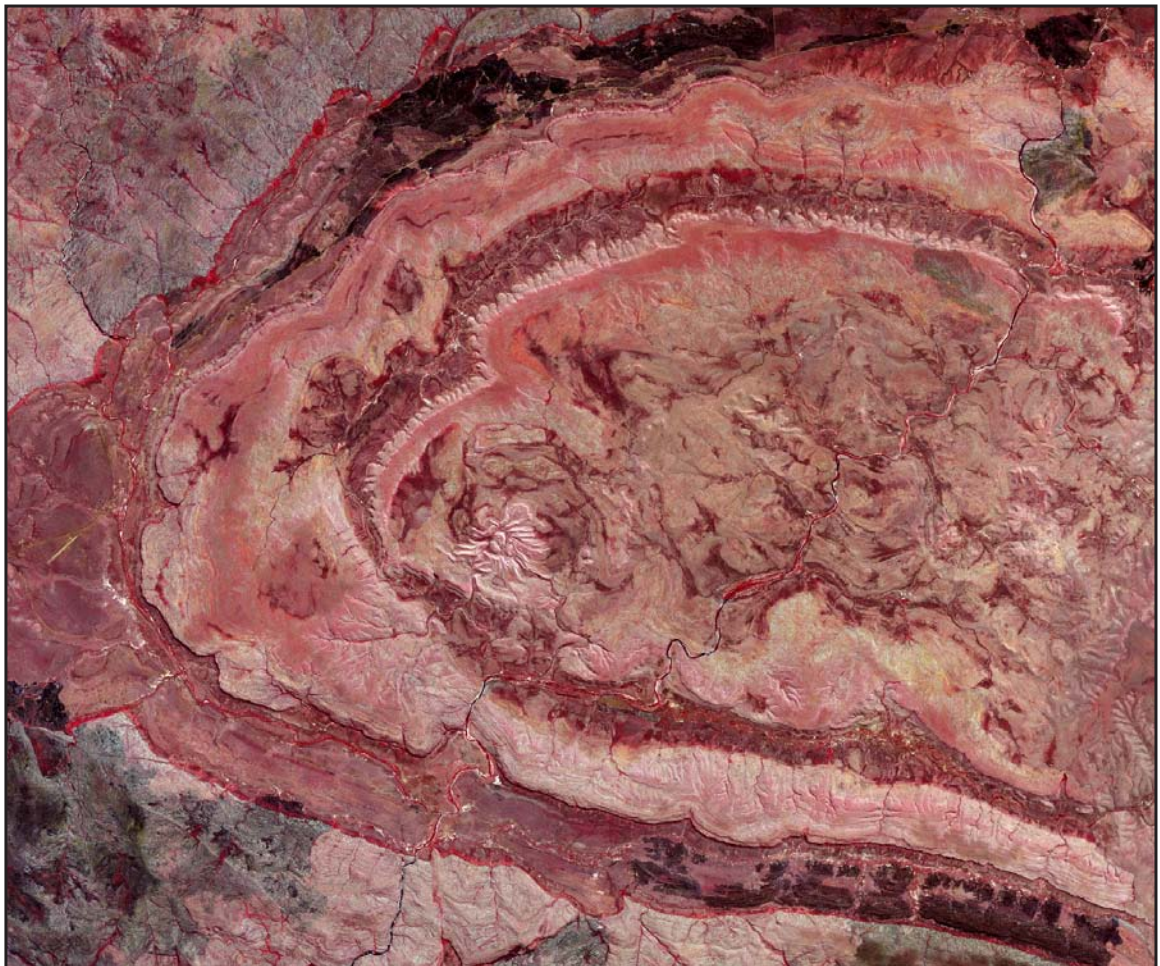
Jika benar *geo-circles* ini adalah kawah hantaman meteor, maka ini pertama kalinya ditemukan *meteor crater* di Indonesia. Di negara lain seperti di Australia, Asia, Afrika, Eropa, Amerika, bahkan di Antartika, sudah banyak ditemukan gejala ini, jumlahnya sekitar seratus (lihat Gambar 5 dan 6).

Jika sendainya benar bahwa *geo-circles* ini adalah disebabkan hantaman meteor (*meteoric impact*), maka hal ini mempunyai konsekuensi ekonomis, karena di Mexico, suatu hantaman meteor bukan saja membentuk kawah, tetapi juga meretakkan batuan di bawahnya dan telah membentuk reservoir minyak bumi. Namun tentu ini masih sangat spekulatif. ■

Penulis adalah Guru Besar Emeritus Geologi, Institut Teknologi Bandung

Gambar 1. *Geo-circles* tanpa penafsiran sebagai kawah meteor.

Gambar 2. *Geo-circles* ditafsirkan sebagai kawah meteor yang bertumpang-tindih *(overlap).*

Gambar 3. Peta geologi Lembar Arjawinangun (skala 1: 100.000) yang menafsirkan geo-circles secara geologi, a.l. struktur anjakan *(thrust faulting).*

Gambar 4. Detail setengah lingkaran dari *geo-circle* di bagian barat cekungan Cilutung (sebelah barat Cisaar).

Gambar 5. Penyebaran kawah benturan meteor di seluruh dunia.

Gambar 6. Kawah meteor Laba-laba, Australia.
Sumber foto: http://www.universetoday.com/65466/pictures-of-australia/

Sodom & Gomora

Oleh: Awang Harun Satyana

Inilah peristiwa yang tercantum dalam kitab-kitab suci. Sodom dan Gomora, terletak di tepi tenggara Laut Mati, berada di atas Sesar Moab. Pembinasaan Sodom dan Gomora dimulai dengan pergerakan Sesar Moab yang diikuti terjadi gempa besar yang menghancurkan, membakar, dan menenggelamkan kota. Bencana katastrofik ini telah menewaskan seluruh penduduk Sodom dan Gomora kecuali Lot/Luth dan dua putrinya.

Sebuah lukisan karya John Martin (1852) menunjukkan pembinasaan Sodom dan Gomora melalui hujan api dan belerang hasil letusan gunung garam/lumpur. Nampak dilukiskan Lot dan kedua putrinya selamat dari bencana ini (Wikipedia, 2010).

Kisah pembinasaan yang merupakan "kiamat" bagi kota Sodom dan Gomora. Kedua kota itu setelahnya terhapus dari muka Bumi, merupakan kisah terkenal dalam kitab-kitab suci agama Kristen/Katolik (Kitab Kejadian 18-19) dan Islam (Surat Huud: 74-83). Kitab-kitab suci ini menyaksikan bahwa Tuhan membinasakan kedua kota ini karena dosa-dosa "berat" yang telah dilakukan oleh hampir semua penduduknya, sebagai peringatan untuk umat manusia masa sesudahnya. Pembinasaan dikisahkan terjadi melalui penjungkirbalikan kota dan wilayah di sekitarnya, hujan api, belerang, dan batu.

Tulisan ini bermaksud melihat aspek-aspek geologi yang terlibat dalam bencana pembinasaan Sodom dan Gomora. Bencana ini berhubungan dengan gempa dan letusan gunung lumpur, merupakan hipotesis penulis. Sebagian orang meragukan kebenaran kisah pembinasaan Sodom dan Gomora. Tulisan ini akan menunjukkan hasil-hasil penelitian arkeologi dan geologi yang telah dilakukan di sekitar lokasi, yang diduga sebagai lokasi-lokasi Sodom dan Gomora. Tulisan ini akan menyimpulkan apakah kesaksian kitab-kitab suci itu benar atau tidak berdasarkan kajian ilmiah khususnya geologi.

Tulisan ini berangkat dari kesaksian kitab-kitab suci agama Kristen/Katolik (Alkitab) dan Islam (Al Qur'an) yang sudah diterjemahkan ke dalam bahasa Indonesia. Bagian-bagian yang berhubungan dengan kisah pembinasaan Sodom dan Gomora dipelajari. Kitab-kitab tafsir untuk bagian-bagian terkait yang didasarkan kepada bahasa-bahasa aslinya (bahasa Ibrani versi Aram untuk Alkitab dan bahasa Arab untuk Al Qur'an) dipelajari. Hasil-hasil penelitian arkeologi yang dipublikasikan dipelajari untuk menentukan lokasi Sodom dan Gomora yang paling mungkin. Data geologi regional dan detail di sekitar lokasi yang diduga Sodom dan Gomora dipelajari untuk melihat kemungkinan mekanisme bencana yang membinasakan kedua kota ini. Pembelajaran aspek-aspek kitab suci, arkeologi dan geologi dianalisis secara simultan dan berhubungan untuk menghasilkan sintesis tentang mekanisme pembinasaan Sodom dan Gomora.

Kesaksian Kitab Suci

Kitab suci agama Kristen/Katolik menyaksikan kisah pembinasaan Sodom dan Gomora di dalam Kitab Kejadian 18 dan Kejadian 19 (terjemahan Bahasa Indonesia, Lembaga Alkitab Indonesia – LAI, 1984). "Sesudah itu berfirmanlah Tuhan: "Sesungguhnya banyak keluh kesah orang tentang Sodom dan Gomora dan sesungguhnya sangat berat dosanya" (Kejadian 18 : 20). Ketika fajar telah menyingsing, kedua Malaikat itu mendesak Lot, supaya bersegera, katanya: ''Bangunlah, bawalah isterimu dan kedua anakmu yang ada di sini, supaya engkau jangan mati lenyap karena kedurjanaan kota ini'' (Kejadian 19 : 15). Kemudian Tuhan menurunkan hujan belerang dan api atas Sodom dan Gomora, berasal dari Tuhan, dari langit, dan ditunggangbalikkan-Nya-lah kota-kota itu dan Lembah Yordan dan semua penduduk kota-kota serta tumbuh-tumbuhan di tanah. (Kejadian 19:24, 25). Ketika Abraham pagi-pagi pergi ke tempat ia berdiri di hadapan Tuhan itu, dan memandang ke arah Sodom dan Gomora serta ke seluruh tanah Lembah Yordan, maka dilihatnyalah asap dari bumi membubung ke atas sebagai asap dari dapur peleburan (Kejadian 19 : 27, 28).

Tulisan ini bermaksud melihat aspek-aspek geologi yang terlibat dalam bencana pembinasaan Sodom dan Gomora. Bencana ini berhubungan dengan gempa dan letusan gunung lumpur, merupakan hipotesis penulis.

Apa maksud Tuhan membinasakan Sodom dan Gomora, itu adalah pertanyaan teologi, tetapi jawabannya bisa dijumpai di Kitab yang lain. "... dan jikalau Allah membinasakan kota Sodom dan Gomora dengan api, dan dengan demikian memusnahkannya dan menjadikannya suatu peringatan untuk mereka yang hidup fasik di masa-masa kemudian" (2 Petrus 2:6).

Kitab Suci Al Qur'an (terjemahan Bahasa Indonesia, Yayasan Penyelenggara Penterjemah/Pentafsir Al Qur'an, 1971) menyaksikan kisah pembinasaan Sodom dan Gomora (di dalam Al Qur'an disebut sebagai "negeri kaum Luth") di dalam Surat Huud (Hud) pada ayat 74-83 dan Surat Al Qamar ayat 34. Beberapa kutipan Surat Huud yang berhubungan adalah seperti di bawah ini.

Pada ayat 76, Hai Ibrahim, tinggalkanlah soal jawab ini, sesungguhnya telah datang ketetapan Tuhanmu, dan sesungguhnya mereka itu akan didatangi azab yang tidak dapat ditolak. Ayat 81, para utusan (malaikat) berkata: "Hai Luth, sesungguhnya kami adalah utusan-utusan Tuhanmu, sekali-kali mereka tidak akan dapat mengganggu kamu, sebab itu pergilah dengan membawa keluarga dan pengikut-pengikut kamu di akhir malam dan janganlah ada seorangpun di antara kamu yang tertinggal, kecuali isterimu. Sesungguhnya dia akan ditimpa azab yang menimpa mereka karena sesungguhnya saat jatuhnya azab kepada mereka ialah di waktu subuh, bukankah subuh itu sudah dekat?" Ayat 82 berbunyi, maka tatkala datang azab Kami, Kami jadikan negeri kaum

Luth itu yang di atas ke bawah (Kami balikkan), dan Kami hujani mereka dengan batu dari tanah yang terbakar dengan bertubi-tubi.

Aspek Biblika Bahasa Ibrani/Aram

Dalam Kitab Kejadian 19 (dalam bahasa asli, Ibrani/Aram - *Bible Library - Valuesoft*, 1999), ada dua frase dan satu kata Ibrani/Aram yang mungkin merupakan kata-kata kunci untuk memahami mekanisme pembinasaan Sodom dan Gomora (Wood, 2000).

Kejadian 19 : 24 (ditransliterasi dari huruf Ibrani/Aram ke dalam huruf Latin) "*Wa-Yahweh himTiyr `al-Cdom w`al- `Amorah* gapriytwa'esh *me'et Yahweh min- hashamayim*" (Kemudian Tuhan menurunkan hujan belerang dan api atas Sodom dan Gomora, berasal dari Tuhan, dari langit).

Kejadian 19 : 25 "*Wayahpok 'et-he`ariym ha'el w'et kal- hakikar w'et kal- yoshbeyhe`ariym wtsemach ha'damah*." (dan ditunggangbalikkan-Nya-lah kota-kota itu dan Lembah Yordan dan semua penduduk kota-kota serta tumbuh-tumbuhan di tanah).

Kejadian 19 : 28 "*Wayashqep `al- pney Cdomwa-`Amorah w`al- kal- pney 'erets hakikar wayar' whineh`alah qiyTor ha'arets* kqiyTor hakibshan." (dan memandang ke arah Sodom dan Gomora serta ke seluruh tanah Lembah Yordan, maka dilihatnyalah asap dari bumi membubung ke atas sebagai asap dari dapur peleburan).

Frase "*goprît waĔeš*" berarti material yang menjatuhi kota-kota (Kejadian 19 : 24), kata "*hapak*" (apa yang terjadi pada kota-kota itu), (Kejadian 19:25), dan frase "*keqîtor hakkibšan*" (apa yang disaksikan – oleh Abraham) (Kejadian 19 : 28).

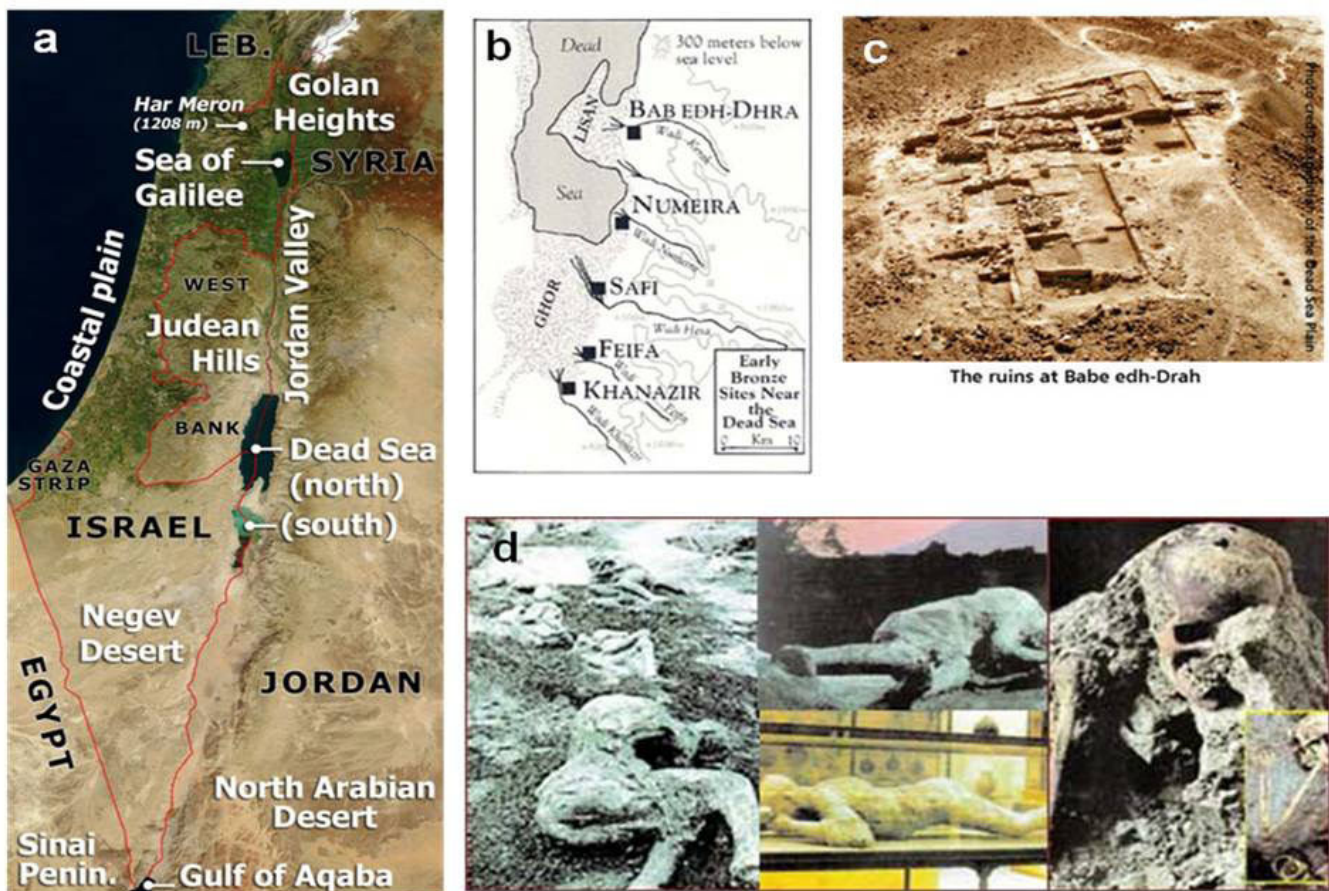
Kata "*goprît*" bukanlah kata asli Ibrani/Aram, tetapi itu kata pinjaman dari bahasa asing yang paling mungkin berasal dari bahasa Akkadia "*ki/ubritu*", yang berarti minyak yang mengandung belerang (*black sulfur*). Kata yang mengikuti *goprît, "waĔeš"*, secara sederhana berarti "dan api". Ini bisa ditafsirkan bahwa material yang menjatuhi Sodom dan Gomora adalah minyak yang terbakar. Kata "*hapak*" artinya menjungkirbalikkan/menjatuhkan/menggulingkan/merobohkan. Frase "*keqîtor hakkibšan*" berarti: seperti asap membubung dari dapur peleburan. Kata "*kibšan*" berarti tempat pembakaran/pengeringan keramik. Dalam alat pengeringan keramik ini, udara dimasukkan ke dalam pengering dengan cara menekan alat pengatur jalan udara, lalu udara dipanaskan agar keramik mengering. Asap yang keluar dari pengering dipaksa keluar melalui cerobong, didorong ke atas menuju udara terbuka. Itulah analogi yang Abraham amati – asap dari daratan seperti asap yang didorong keluar dari pembakaran keramik. Kata yang digunakan untuk asap, "*qîtor*" bukanlah kata untuk menunjuk asap dari api biasa. Tetapi, kata khusus untuk asap yang tebal, asap yang biasanya datang dari korban bakaran.

Arkeologi Sodom dan Gomora

Terdapat perdebatan di antara para ahli arkeologi tentang lokasi yang tepat untuk Sodom dan Gomora (Gambar 1). Kitab Kejadian 14 : 1-3 mengindikasi bahwa Sodom dan Gomora adalah dua wilayah yang terletak di dekat Laut Mati (Laut Asin). "(1) Pada zaman Amrafel, raja Sinear, Ariokh, raja Elasar, Kedorlaomer, raja Elam, dan Tideal, raja Goyim, terjadilah, (2) bahwa raja-raja ini berperang melawan Bera, raja Sodom, Birsya, raja Gomora, Syinab, raja Adma, Syemeber, raja Zeboim dan raja negeri Bela, yakni negeri Zoar. (3) Raja-raja yang disebut terakhir ini semuanya bersekutu dan datang ke Lembah Sidim, yakni Laut Asin.

Kata "goprît" bukanlah kata asli Ibrani/Aram, tetapi itu kata pinjaman dari bahasa asing yang paling mungkin berasal dari bahasa Akkadia "ki/ubritu", yang berarti minyak yang mengandung belerang (black sulfur).

Lembah Sidim yang disebutkan dalam Kejadian 14 : 3 membimbing para ahli arkeologi dalam mencari lokasi Sodom dan Gomora. Penelitian-penelitian arkeologi di wilayah ini telah menemukan bahwa Lembah Sidim terletak di sebelah timurlaut Tanjung Lisan yang sekarang merupakan tepi tenggara Laut Mati.

Tahun 1924, ahli arkeologi Albright dan Kyle melakukan penggalian arkeologi di bagian tenggara Laut Mati berdasarkan petunjuk Alkitab (lihat Halley, 1965). Di tempat ini, mereka menemukan bekas-bekas lima oase yang dialiri sungai, dan di tengah-tengah aliran sungai-sungai ini pada ketinggian 500 kaki di atas muka Laut Mati, di tempat yang disebut Bab-ed-Dra (Bab edh-Dhra), ditemukan bangunan seperti bekas benteng (Gambar 1). Ditemukan juga artefak-artefak seperti batuapi, tiang penambat ternak dan lain-lain yang umurnya di antara 2500-2000 SM. Terdapat juga bukti-bukti yang menunjukkan bahwa kebudayaan di sini berakhir secara mendadak pada sekitar 2000 SM. Wilayah yang semula diperkirakan sangat subur ini kemudian nampak terisolasi akibat

Gambar 1. a. Lokasi Laut Mati (Dead Sea) yang merupakan perbatasan antara Israel dan Yordania (Wikipedia, 2010). b. Kelima kota "cities of the plain" di Lembah Sidim hasil penggalian arkeologi (www.bib-arch.org/images), Bab edh-Dhra dan Numeira masing-masing adalah Sodom dan Gomora. c. Penggalian arkeologi menunjukkan bekas puing-puing bangunan kota di Bab edh-Dhra (Reznick, 2010). d. Penggalian arkeologi di Bab edh-Dhra (Sodom) menemukan kerangka-kerangka yang telah membatu menunjukkan aktivitas semasa penduduk Sodom melarikan diri dari bencana yang menghujani kotanya (www.bestfard.wordpress.com).

berubahnya kondisi tanah. Albright dan Kyle (lihat Halley, 1965) berpendapat bahwa Sodom dan Gomora terletak di sekitar oase ini. Penelitian geologi oleh Clapp (1936a) mengonfirmasi penemuan ini.

Kejadian 14 : 2 mengindikasi bahwa kota-kota Sodom dan Gomora bertetangga dengan tiga kota lainnya yaitu Adma, Zeboim, Zoar. Tahun 1976, ahli arkeologi Giovanni Pettinato menemukan *tablet* bertuliskan paku dari penggalian sebuah perpustakaan di Ebla, Siria dan menemukan nama kelima kota yang disebutkan di dalam Kejadian 14 : 2 tersebut dalam urutan yang sama: Sodom, Gomora, Adma, Zeboim, Bela/Zoar. Kelima kota ini disebut sebagai "*five cities of the plain*" (Shanks, 1981) (Gambar 1).

Ahli geografi dan sejarah Strabo mengatakan bahwa berdasarkan dokumen penduduk setempat di wilayah Moasada, ada cerita bahwa "suatu waktu ada tiga belas kota di wilayah ini dan salah satunya adalah Sodom yang merupakan sebuah kota metropolis. Strabo berpendapat bahwa Sodom yang disebutkan dalam Alkitab adalah reruntuhan bernama Kharbet Usdum di dekat bukit batugaram dan batugamping di ujung barat daya Laut Mati (de Saulcy, 1853).

Rast dan Schaub (1973) menemukan dan meneliti kota-kota Numeira, es-Safi, Feifeh dan Khanazir. Semua kota ini terletak di dekat Laut Mati dengan artefak-artefak yang ditemukan berupa bekas-bekas terbakar dan belerang pada batu-batu yang ditemukan. Menurut Shaub (1993), Bab edh-Dhra adalah Sodom, Numeira adalah Gomora, es-Safi adalah Zoar, Feifeh adalah Adma, dan Khanazir adalah Zeboim (Gambar 1).

Rast dan Schaub (1973) pun menemukan hilangnya peradaban di kota-kota ini secara mendadak pada menjelang akhir Abad Perunggu Awal (*Early Bronze Age)*. Penemuan-penemuan arkeologi yang digali di Bab edh-Dhra kini disimpan di Karak Archaeological Museum (Karak Castle) dan Amman Citadel Museum.

Donahue (1985) menemukan bekas-bekas bangunan yang dilanda bencana (gempa) di Bab edh-Dhra dan Numeira. Penggalian arkeologi dan penyelidikan geologi di sana menemukan bahwa gempa telah mengangkat ketinggian kota Bab edh-Dhra setinggi 28 meter relatif terhadap sebuah wadi bernama Wadi Karak di sisi utara kota. Perbedaan

ketinggian ini telah menyebabkan tembok utara kota runtuh ke arah wadi. Penggalian di Numeira menemukan menara yang runtuh dan lapisan-lapisan tanah yang luas dengan ciri-ciri bekas terbakar. Gempa di sini telah mengangkat Numeira setinggi 50 meter relatif terhadap wadi di sebelah utara Numeira.

Schaub (1993) melaporkan penemuan peninggalan di Bab edh-Dhra dan Numeira yang menunjukkan bekas-bekas bencana. Banyak bukti ditemukan di Numeira bahwa penduduk meninggalkan kota dengan tergesa-gesa. Banyak keramik ditemukan terguling di lantai yang terlalu besar dan berat untuk dibawa evakuasi dalam keadaan terburu-buru. Terdapat bukti di area pekuburan Bab edh-Dhra bahwa kota ini dihancurkan oleh kebakaran besar. Di bawah puing-puing, para ahli arkeologi menemukan tumpukan kerangka-kerangka manusia dan tengkorak-tengkorak yang tidak beraturan susunannya (Rast dan Schaub, 1980) (Gambar 1). Kerusakan juga meluas ke daerah-daerah di luar tembok kota.

Masa Pembinasaan

Masa pembinasaan Sodom dan Gomora dapat diperkirakan pada kronologi Kitab Kejadian atau pentarikhan umur absolut artefak-artefak yang ditemukan. Masa pembinasaan itu dapat dikaitkan dengan masa kelahiran Ishak dari Abraham dan Sara (Kejadian 18 : 10-14). Menurut Rabbi Reznick (2010), masa pembinasaan itu terjadi sekitar satu tahun sebelum kelahiran Ishak sekitar 2000 SM (Halley, 1965). Pentarikhan artefak-artefak dengan sisa pembakaran yang ditemukan di Bab edh-Dhra dan Numeira menghasilkan umur sekitar 2300 SM. Perhitungan lain berdasarkan kronologi keluarnya bangsa Israel dari Mesir (exodus) yang terjadi pada sekitar tahun 1500 SM, menemukan bahwa masa pembinasaan Sodom dan Gomora dihitung terjadi pada 2070 SM (Wood, 2000). Sambil menunggu kemajuan penyelidikan tarikh yang lebih tepat, peristiwa pembinasaan Sodom dan Gomora umumnya diperkirakan terjadi pada sekitar tahun 2000 SM atau sekitar 4000 tahun yang lalu.

Danau Laut Mati

Berdasarkan keterangan Alkitab dan penemuan-penemuan arkeologi, dapat diperkirakan bahwa Sodom dan Gomora terletak di tepi tenggara Laut Mati (dalam bahasa Aram dan Arab masing-masing disebut Yam Ha-Melah dan Al Bahr Al Mayyit). Karena itu, pembahasan selanjutnya akan dibatasi pada fenomena geologi Laut Mati dalam kemungkinan menimbulkan bencana geologi.

Laut Mati adalah sebuah danau air asin yang terletak di perbatasan Israel dan Yordania (Gambar 1). Permukaan Laut Mati terletak 418 m di bawah muka laut (data tahun 2006 -Microsoft Encarta, 2009), atau merupakan permukaan air paling rendah di Bumi. Panjang danau 80 km dengan lebar maksimum 18 km, luas areanya 1020 km^2. Di sebelah timur Laut Mati, terdapat Plato Moab setinggi 1340 m di atas muka laut. Di sebelah baratnya terdapat Plato Yudea setinggi sekitar setengah ketinggian Plato Moab. Sebuah tanjung, Tanjung Lisan, memotong bagian selatan Laut Mati dan membuatnya sangat dangkal, kurang dari 6 m. Bagian utara Laut Mati merupakan bagian terdalam, sampai sekitar 300 m.

Laut Mati adalah sebuah danau air asin yang terletak di perbatasan Israel dan Yordania (Gambar 1). Permukaan Laut Mati terletak 418 m di bawah muka laut (data tahun 2006 -Microsoft Encarta, 2009), atau merupakan permukaan air paling rendah di Bumi. Panjang danau 80 km dengan lebar maksimum 18 km, luas areanya 1020 km^2.

Laut Mati terutama dialiri oleh Sungai Yordan dari sebelah utara. Beberapa sungai kecil mengaliri dari sebelah timur. Danau ini tidak memiliki muara ke arah selatan karena di tempat ini terdapat dataran tinggi Negev. Sirkulasi air danau hanya melalui penguapan. Penguapan terjadi dengan cepat di iklim gurun yang panas dan kering. Karena Sungai Yordan banyak digunakan Israel dan Yordania untuk irigasi dan keperluan lainnya, maka volume air danau Laut Mati berkurang dengan cepat dalam 50 tahun terakhir ini. Pemerintah Israel dan Yordania pada tahun 2002 membangun pipa sepanjang 320 km menghubungkan Laut Mati dengan laut Teluk Aqaba di sebelah selatannya untuk mengurangi penyusutan volume air di Laut Mati. Bila penciutan volume air Laut Mati dibiarkan seperti sekarang, diperkirakan pada tahun 2050 Laut Mati akan lenyap.

Salinitas air Laut Mati sembilan kali lebih asin daripada laut pada umumnya. Karena begitu tinggi salinitasnya, tidak ada kehidupan di dalam Laut Mati, kecuali beberapa jenis mikroba yang dapat hidup dalam kondisi ekstrem. Ikan laut akan segera mati bila ditaruh di Laut Mati. Manusia dapat terapung di

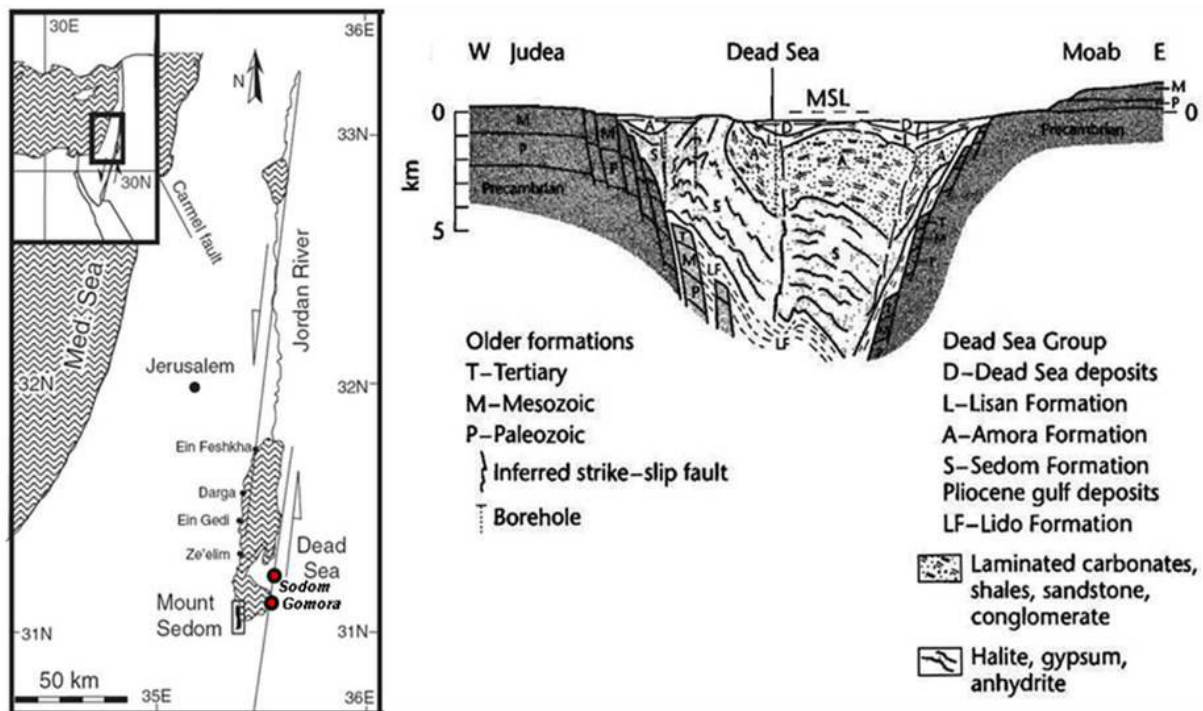
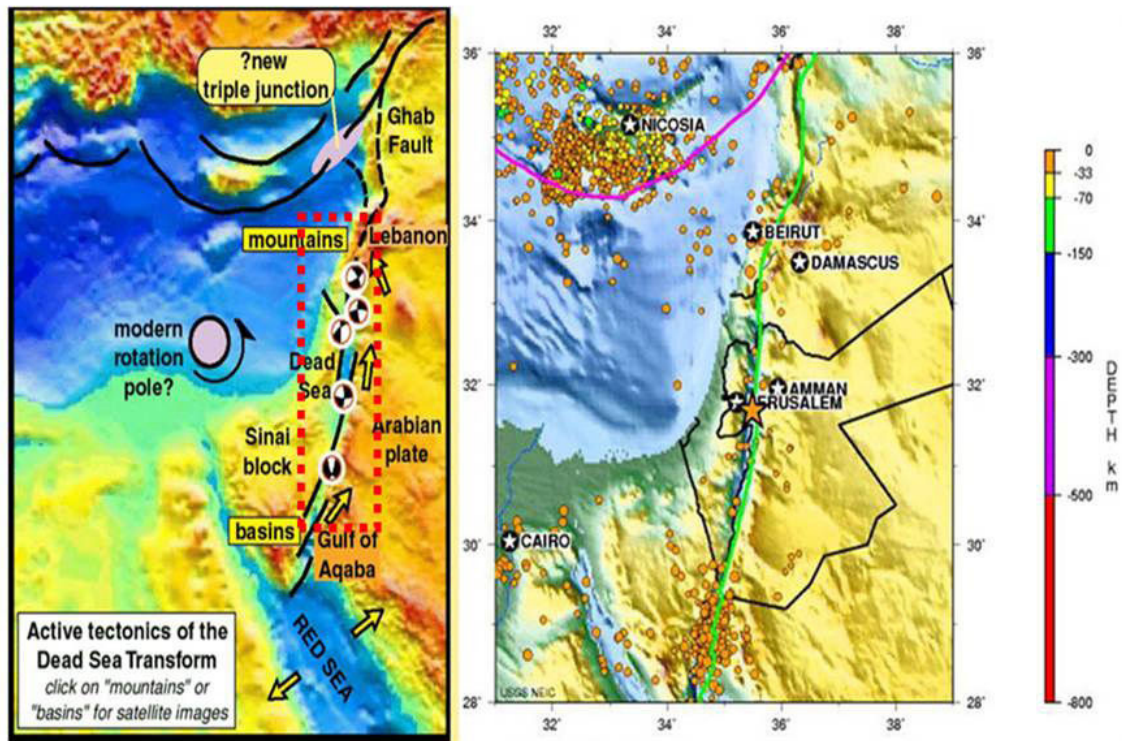
atas permukaan Laut Mati karena salinitasnya yang sangat tinggi.

Geologi Regional Laut Mati

Laut Mati secara tektonik regional menduduki bagian utara Lembah Retakan Besar (*the Great Rift Valley*). Lembah Retakan Besar merupakan depresi yang memanjang lebih dari 4830 km dari Mozambik di Afrika Tenggara sampai Siria di Asia Barat daya. Lembah retakan besar ini dibentuk oleh gerak-gerak lempeng yang mendasari Asia Barat daya dan Afrika Tenggara dan terbentuk selama 50 juta tahun terakhir.

Elevasi Lembah Retakan Besar bervariasi dari 418 meter di bawah muka laut (pantai Laut Mati) sampai 1829 m di atas muka laut pada beberapa tebing di wilayah Kenya, Afrika Timur. Lebar Lembah retakan ini berkisar dari beberapa km sampai lebih daripada 160 km. Di Afrika Tenggara, Lembah ini membentuk dua cabang: Retakan Barat (*Western Rift*) dan Retakan Timur (*Eastern Rift*). Danau Tanganyika, salah satu danau terbesar di dunia, terbentuk di atas Retakan Barat. Danau-danau lain dan sungai yang terbentuk sepanjang Lembah Retakan Besar dari selatan ke utara adalah: Danau Malawi, Laut Merah, Teluk Aqaba, Laut Mati, Sungai Yordan, dan Danau Galilea (Danau Tiberias).

Laut Mati menduduki sebagian *transform boundary* antara Lempeng Arabia dan Sub-lempeng Sinai (ujung utara timurlaut Lempeng Afrika) (Garfunkel *et al.,* 1981; Aydin dan Nur, 1982) (Gambar 2, 3). *Transform boundary* Laut Mati berupa Zona Sesar Laut Mati. Tektonik wilayah-wilayah Israel, Yordania, Libanon, Siria, dan Tepi Barat (*West Bank*) didominasi oleh gerakan Lempeng Arabia ke sebelah utara relatif terhadap Lempeng Afrika dengan kecepatan sekitar 6 mm/tahun. Gerakan ini diakomodasi oleh pergeseran sepanjang Zona Sesar Laut Mati.

Karena merupakan *transform boundary*, maka Danau Laut Mati dibentuk oleh sistem sesar mendatar besar, sehingga genesa Laut Mati berhubungan dengan mekanisme *pull-apart basin* membentuk blok-blok rombohedral yang tenggelam diapit dua sesar mendatar besar, yang merupakan sistem *transform boundary*, yaitu Sesar Yudea di sebelah barat Laut Mati dan Sesar Moab di sebelah timurnya (Gambar 2). Sesar-sesar ini umum disebut sebagai Zona Sesar Laut Mati (*Dead Sea Faults*).

Gambar 2. Peta menunjukkan bahwa Laut Mati merupakan cekungan tarikan *(pull-apart basin)* oleh dua sesar mendatar besar yang membatasinya di sebelah barat (Sesar Yudea) dan sebelah timur (Sesar Moab) *(transtension duplex)* (Frumkin, 2009). Lokasi Sodom dan Gomora tepat di atas Sesar Moab. Penampang Cekungan Laut Mati dan formasi-formasi sedimen yang mengisinya (Katzman *et al.,* 1995).

Gambar 3. Peta tektonik yang menunjukkan bahwa Laut Mati merupakan *transform boundary* antara Lempeng Arabia dan Sublempeng Sinai (www.see.leedas.ac.uc/structure). Sesar transform ini (sesar mendatar) merupakan jalur konsentrasi episentrum gempa-gempa dangkal (< 33 km) (USGS, 2004).

Volkanisme yang berhubungan dengan retakan (*rifting volcanism*) ditemukan di beberapa tempat berupa aliran lava basal yang sudah tidak aktif lagi, antara lain tersingkap di Danau Galilea, Dataran Tinggi Golan dan di Yordania.

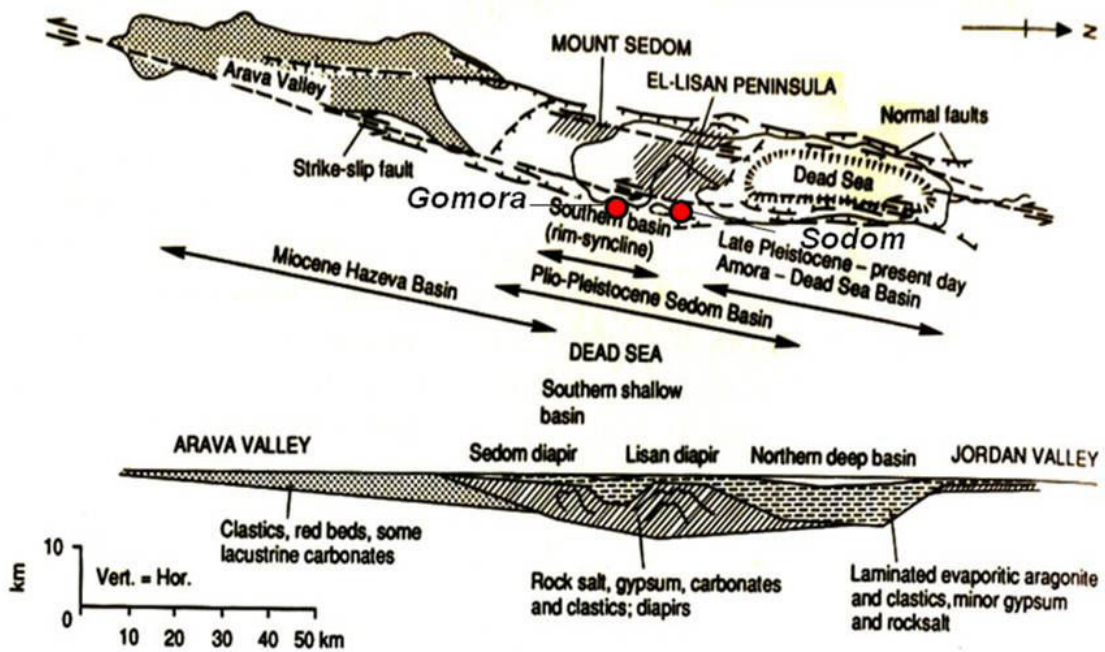
Geologi Struktur Laut Mati

Danau Laut Mati merupakan contoh ideal *pull-apart basin* akibat sesar mendatar (Allen dan Allen, 2005). Dua sesar mendatar (Sesar Yudea dan Sesar Moab) berposisi secara sejajar (*dupleks*) dan terhubung oleh suatu zona transfer (*side-stepping*) mengiri (*left-stepping*). Penting untuk diketahui bahwa baik lokasi Bab edh-Dhra (Sodom) dan Numeira (Gomora) terletak tepat di atas Sesar Moab (Gambar 2).

Sesar Moab berperan sebagai sesar utama sinistral (*sinistral master strike-slip fault*), sedangkan Sesar Yudea adalah *left-stepping sinistral fault*. Ketika kedua sesar mendatar sinistral ini bergerak, area tumpang tindih (*overlapping area*) di antaranya semakin panjang dalam gerak membuka (*transtension*) ke utara dan ke selatan membentuk cekungan tarikan (*pull-apart basin*). Lebar cekungan dan jarak kedua sesar tetap sama, tetapi area tumpang tindih kedua sesar dan cekungan semakin panjang dengan semakin jauhnya pergerakan kedua sesar tersebut. Model kinematika pembukaan Laut Mati melalui gerak *transtension duplex* antara Sesar Moab dan Sesar Yudea disebut *overlap of side-stepping faults* (Garfunkel et al., 1981; Ben-Avraham dan Zoback, 1992).

Di samping dibentuk oleh kinematika *overlap of side-stepping faults*, Laut Mati pun dimodifikasi di beberapa tempat oleh proses *transform-normal extension* (Gambar 4). Proses ini menyebabkan cekungan tarikan yang terbentuk akan asimetri dengan bagian paling dalam (*deposenter*) mendekati sesar transform utamanya dan melandai ke sisi lain yang dicirikan oleh perkembangan sesar-sesar normal yang *subparalel*. Penenggelaman cekungan seperti ini terjadi baik oleh sesar normal maupun tarikan akibat sesar mendatar pada saat yang bersamaan.

Cekungan Danau Laut Mati oleh proses-proses di atas menghasilkan cekungan dengan ciri khas cekungan tarikan, yaitu sempit tetapi dalam (Gambar 2). Lebar Cekungan Laut Mati 7-18 km, kedalaman sekitar 10 km, secara umum simetrik (kecuali di beberapa tempat seperti disebutkan di atas), dan memanjang sepanjang jurus sesar-sesar pembatasnya, yaitu sekitar 132 km. Danau yang terisi air sebagai danau, panjangnya 80 km.

Gerak sesar mendatar dimulai dari selatan pada Miosen Awal (25-14 Ma) dengan terbukanya Laut Merah. Gerakan ini membuka Lembah Arava di sebelah selatan Laut Mati, mengendapkan endapan *red beds* setebal dua km selama pergerakan sesar

Gambar 4. Peta menunjukkan Laut Mati dan sesar-sesar mendatar yang membentuknya. Sodom dan Gomora terletak di atas sesar mendatar tepi timur Laut Mati (Sesar Moab). Gunung Sedom dan Tanjung El Lisan adalah diapir garam dan lempung di sebelah selatan Laut Mati. Penampang utara-selatan Laut Mati menunjukkan perpindahan deposenter ke arah utara dan keberadaan diapir-diapir (peta dan penampang dari Manspeizer, 1985).

terhenti (Gambar 4). Gerakan selanjutnya terjadi pada Pliosen-Resen (sejak 4,5 Ma) membuka Laut Mati mengendapkan halit lakustrin-marin Formasi Sedom dengan ketebalan lebih dari 4 km, diikuti oleh endapan klastik dan karbonat evaporitik lakustrin setebal 3,5 km.

Stratigrafi Cekungan Laut Mati

Pemekaran (*extension*) lokal dalam cekungan-cekungan tarikan (*pull-apart basin*) menyebabkan penenggelaman dan akumulasi sedimen yang sangat cepat. Sedimen setebal lebih dari 10 km dapat terakumulasi dalam waktu kurang dari lima juta tahun (tingkat sedimentasi lebih dari 2000 m/juta tahun). Karena cekungan yang sempit umumnya kehilangan panas lebih cepat, maka penenggelaman cekungan dipercepat dengan kehilangan panas (*thermal subsidence*).

Cekungan Laut Mati berisi sedimen dengan lingkungan arid (panas dan kering, garis lintang menengah, gurun). Cekungan ini berisi sedimen setebal lebih dari 10 km, terdiri atas endapan klastik fluvial, batugamping lakustrin dan evaporit Kelompok Laut Mati (Gambar 2). Formasi paling bawah ditempati Formasi Lido (Miosen Atas) berupa serpih. Di atasnya adalah endapan halit, gipsum, dan anhidrit Formasi Sedom (Pliosen), kemudian Formasi Amora (Plistosen Bawah) terdiri atas perselingan karbonat, serpih, batupasir dan konglomerat, di atasnya lagi adalah Formasi Lisan (serpih, Plistosen Atas) dan deposit Holosen Laut Mati. Sedimen Resen berupa kipas-kipas delta sungai-sungai yang berasal dari Tinggian Yudea dan Sungai Yordan. Sedimen Resen yang lain adalah sedimen arid aragonit dan gipsum. Tinggian Moab dan Yudea yang membatasi Laut Mati masing-masing di sebelah timur dan baratnya disusun oleh kelompok batuan berumur Pra-Kambrium sampai Mesozoikum.

Deposenter berpindah-pindah sesuai gerakan sesar-sesar mendatar pembentuk cekungan. Sedimen paling tua (Miosen) terdapat di bagian selatan cekungan, sedimen Pliosen terdapat di bagian tengah, dan sedimen Plistosen-Resen terdapat di bagian utara Cekungan Laut Mati.

Kegempaan Laut Mati

Berdasarkan data *U.S. Geological Survey*, *National Earthquake Information Center* (2010), banyak gempa telah tercatat sepanjang masa prasejarah dan sejarah di wilayah yang sekarang merupakan wilayah-wilayah Israel, Yordania, Libanon, Siria, dan Tepi Barat

(Gambar 3). Bukti-bukti arkeologi menunjukkan bahwa wilayah Yerikho di Israel dihancurkan oleh gempa pada sekitar tahun 1560 SM. Sebuah gempa dengan magnitude diperkirakan lebih dari 7,0, juga telah melanda wilayah Yudea, Samaria, dan Galilea pada sekitar 760 SM. Di wilayah Siria dan Libanon juga pernah tercatat gempa dengan magnitude melebihi 7,0 terjadi pada tahun 1202 M dan 1759 M.

Gempa dengan episentrum di Laut Mati pernah terjadi pada 11 Juli 1927 dengan magnitude 6,3. Gempa ini menewaskan sebanyak 500 orang. Gempa terhitung paling baru dan cukup signifikan adalah gempa yang terjadi pada 11 Februari 2004 dengan magnitude 5,3 berasal dari kedalaman 25,8 km (USGS, 2004). Lokasi episentrum gempa ini terletak di Zona Sesar Laut Mati (Gambar 3). Gempa ini melukai empat orang di bagian barat Yordania, menyebabkan tanah longsor di Ma'in. Kerusakan bangunan di Yerusalem, Petah-Tiqwa, Tel Aviv dan di daerah Nablus. Gempa dirasakan sampai Cairo, Mesir dan Libanon.

Data gempa dari tahun 1973-2010 (USGS, 2010) menunjukkan bahwa jalur *Great Rift Valley* yang di wilayah Israel dan sekitarnya diduduki oleh Teluk Aqaba, Laut Mati, Sungai Yordan, dan Danau Galilea, merupakan konsentrasi lokasi episentrum-episentrum gempa dangkal (< 33 km). Data momen tensor historis menunjukkan bahwa pematahan batuan penyebab gempa berasal dari sesar mendatar atau sesar normal. Hal ini sejalan dengan struktur geologi Laut Mati yang pembentukannya melalui *pull-apart basin* oleh sesar mendatar dan sesar normal.

Berdasarkan hal-hal di atas, maka dapat disimpulkan bahwa gempa-gempa di Laut Mati dan sekitarnya terutama berhubungan dengan penyesaran mendatar akibat Zone Sesar Laut Mati yang sampai saat ini aktif bergeser dengan kecepatan 6 mm/tahun (Gambar 3).

Diapir dan Gunung Garam Laut Mati

Sedimentasi yang cepat selama Pliosen mengendapkan sedimen-sedimen berumur muda Formasi Sedom terdiri atas halit, gipsum, dan anhidrit ditutupi oleh sedimen-sedimen Plistosen silisiklastik yang lebih berat (Gambar 2, 4). Sedimen berumur muda yang diendapkan dengan cepat dalam cekungan yang tenggelam dan aktif secara tektonik akan menghasilkan kondisi geologi *elisional* yang terkenal memicu fenomena *diapirisme*. Endapan-endapan halit dan anhidrit Formasi Sedom mempunyai densitas yang lebih ringan dibandingkan dengan endapan-endapan silisiklastik di atasanya. Bila dipicu gerak tektonik seperti sesar, maka endapan halit, anhidrit dan batuan lain yang lebil ringan densitasnya, akan mengalir naik ke permukaan, memotong atau membawa endapan-endapan yang lebih muda di atasnya. Fenomena ini umum disebut sebagai diapir. Bergantung kepada materi penyusunnya, maka ada diapir garam (*salt diapir*) dengan asal materi berupa halit atau anhidrit, atau diapir lempung/serpih (*shale diapir*).

Data gempa dari tahun 1973-2010 (USGS, 2010) menunjukkan bahwa jalur Great Rift Valley yang di wilayah Israel dan sekitarnya diduduki oleh Teluk Aqaba, Laut Mati, Sungai Yordan, dan Danau Galilea, merupakan konsentrasi lokasi episentrum-episentrum gempa dangkal (< 33 km).

Diapir-diapir garam ditemukan di sepanjang Cekungan Laut Mati tersebar dari utara ke selatan (Gambar 4-6). Penyebaran diapir-diapir garam ini sangat kuat dikontrol sesar-sesar mendatar yang di wilayah ini karena penyebarannya mengikuti dan menempati jalur sesar mendatar, misalnya penyebaran diapir garam sepanjang Sesar Lembah Yordan (ten Brink *et al.,* 1993; Katzman *et al.,* 1995). Diapir garam terbesar (200 km^2) ditemukan di bawah Tanjung Lisan, lokasi di dekat bekas kota Sodom dan Gomora (Gambar 6).

Sebuah diapir garam tersingkap di tepi selatan Laut Mati yang disebut Gunung Sedom (Jebel Usdum). Dalam hal ini, diapir tersebut telah menembus permukaan dan prosesnya disebut letusan gunung garam/gunung lumpur. Frumkin (2009) mempelajari diapir Gunung Sedom yang saat ini membentuk tiang garam setinggi 20 m (Gambar 6). Secara keseluruhan, puncak Jebel Usdum terletak 742 kaki di atas muka laut Laut Mati (Clapp, 1936). Diapir Sedom saat ini hanya mewakili bagian yang tersisa, sebagian tubuhnya telah runtuh, diduga akibat gempa. Umur diapir ini berdasarkan bongkah kayu yang dikandungnya sekitar 4000 tahun yang lalu (2000 SM) dengan menggunakan penanggalan C-14. Diapir ini diamati bertambah tinggi dari waktu ke waktu dengan kecepatan 9,3 ± 3,5 mm/tahun yang menunjukkan bahwa diapir Sedom terhubung ke *diapirisme* yang masih aktif di sisi barat daya Laut Mati (Zak, 1967). Gunung Sedom disusun oleh lapisan-lapisan tegak Formasi Sedom yang berumur

Gambar 5. Pantai Laut Mati, dengan lapisan halit menyusun tebing pantai (Wikipedia, 2010). Lapisan garam (halit) adalah bagian Formasi Sedom (Pliosen).

Pliosen. Satuan evaporit Gunung Sedom terdiri atas halit, anhidrit dan lapisan-lapisan tipis dolomit. Satuan klastiknya terdiri atas batulanau, batulempung dan batupasir.

Diapir Sedom memiliki akar yang sangat dalam, dan diapir ini terangkat dari kedalaman minimal tiga km (Gardosh *et al.,* 1997). Diapir ini telah terangkat sepanjang Kuarter (Zak, 1967) dan terdeformasi. Sama dengan diapir-diapir lainnya di Cekungan Laut Mati, pengangkatan diapir ini disebabkan daya apung (*buoyancy*) garam dan dalam perjalanannya ke atas memotong sedimen di atasnya yang densitasnya lebih berat, dikontrol oleh efek tektonik (Ben-Avraham dan Lazar, 2006) seperti sesar mendatar yang terdapat di Laut Mati.

Dalam banyak kasus, distribusi diapir-diapir lumpur maupun diapir garam dikontrol oleh sesar mendatar. Sesar-sesar ini umumnya menjadi jalan yang dilalui untuk massa diapir naik karena merupakan retakan yang bertekanan rendah. Diapirisme adalah massa di bawah permukaan yang bertekanan tinggi. Massa diapir ini kemudian akan aktif bergerak ketika zona tekanan tingginya dipecahkan oleh jalur retakan sesar mendatar yang bertekanan lebih rendah. Material lumpur atau garam akan mengalir terletusan melalui zona retakan ini, naik ke permukaan dan akan menjadi wujud gunung lumpur (*mud volcano*) atau gunung garam (*salt volcano*). Gunung garam Usdom adalah sebuah contoh *salt volcano*.

Zona Hidrokarbon Daerah Laut Mati

Daerah Laut Mati adalah daerah yang kaya akan hidrokarbon sejak purbakala. Kitab Kejadian 14 : 10 mencatat hal ini: "Di Lembah Sidim itu di mana-mana ada sumur aspal. Ketika raja Sodom dan raja Gomora melarikan diri, jatuhlah mereka ke dalamnya, dan orang-orang yang masih tinggal hidup melarikan diri ke pegunungan." Aspal merupakan komoditi dagangan orang Israel dan Yordania. Clapp (1936b) meneliti bitumen dan aspal wilayah Laut Mati, Palestina, dan Transyordania.

Laut Mati pada zaman dahulu disebut *Lake Asphaltites*. Rembesan minyak dan bitumen, dilaporkan ditemukan di seluruh kawasan Laut Mati. Salah satu yang terbaik untuk diamati adalah rembesan yang berlokasi di sebuah jurang di belakang Jebel Usdum. Rembesan-rembesan hidrokarbon di Laut Mati menunjukkan bahwa terdapat sistem

hidrokarbon yang aktif di wilayah Laut Mati. Keberadaan aspal menunjukkan bahwa minyak di sini telah terbiodegradasi atau kondisi batuan induknya yang spesifik. Minyak yang terbiodegradasi atau yang API-nya rendah, misalnya menjadi aspal, umumnya berasal dari minyak yang digenerasikan oleh batuan induk yang dibentuk di lingkungan marin atau karbonat dengan kandungan belerang/sulfur yang tinggi (Hunt, 1996).

Mekanisme Pembinasaan Sodom dan Gomora

Berdasarkan hal-hal yang diterangkan di atas, maka dapat ditetapkan beberapa kesimpulan tentang kondisi geologi Laut Mati.

Laut Mati terletak di Jalur Lembah Retakan Besar (*Great Rift Valley*) yang panjang keseluruhannya mencapai 4830 km dari Mozambik di Afrika Tenggara sampai Siria di Asia Barat daya, merupakan Lembah/cekungan yang terbentuk oleh gerakan tarikan (*pull-apart basin*) zona sesar mendatar mengiri (Zona Sesar Laut Mati, terdiri atas Sesar Yudea dan Sesar Moab). Lokasi Bab edh-Dhra (Sodom) dan Numeira (Gomora) terletak tepat di atas Sesar Moab. Zona Sesar Laut Mati merupakan batas lempeng/sub-lempeng (*transform boundary* antara Lempeng Arabia dan Sublempeng Sinai (Lempeng Afrika). Lempeng Arabia sampai saat ini masih aktif bergerak melalui Sesar Laut Mati ke arah utara dengan kecepatan 6 mm/tahun.

Sedimen Pliosen Formasi Sedom terutama terdiri atas endapan garam (halit) anhidrit dan gipsum diendapkan secara cepat dalam Cekungan Laut Mati yang aktif tenggelam. Di atasnya diendapkan sedimen silisiklastik Plistosen Formasi Amora dan Formasi Lisan.

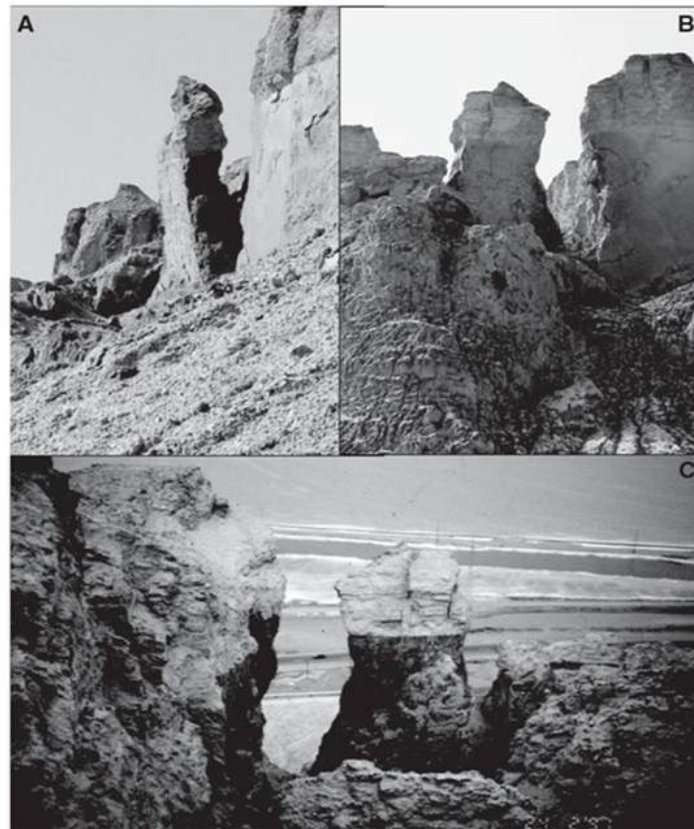
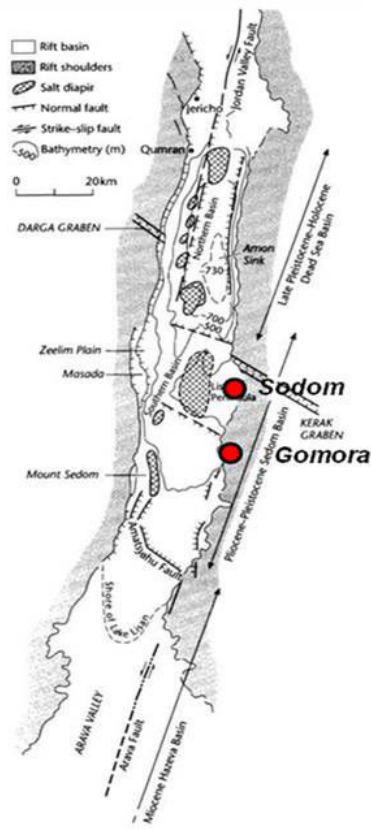
Laut Mati merupakan wilayah dengan kegempaan yang tinggi. Sepanjang sejarah dan sampai saat ini telah terjadi gempa-gempa dengan berbagai magnitude sampai 7,0+ dan umumnya dangkal (< 33 km). Episentrum-episentrum gempa historis maupun yang baru terkonsentrasi di sepanjang zona Sesar Laut Mati. Sesar mendatar dan sesar normal merupakan mekanisme umum penyebab gempa di Laut Mati. Keberadaan sesar mendatar, wilayah gempa aktif dan sedimentasi cepat di Cekungan Laut Mati telah menghasilkan kondisi *elisional* yang telah menyebabkan banyaknya diapir garam dan/atau diapir lempung/serpih naik ke permukaan, dengan distribusi dikontrol sesar mendatar dan sebagian muncul ke permukaan menjadi gunung garam dan gunung lumpur seperti Jebel Usdum. Cekungan Laut Mati telah menggenerasikan hidrokarbon yang sebagian terakumulasi sebagai deposit aspal dengan kandungan belerang yang tinggi karena batuan induknya berupa karbonat marin.

Bila kita kaji kembali jalannya bencana pembinasaan Sodom dan Gomora berdasarkan: kitab Kejadian 19 : 24-27 "Kemudian Tuhan menurunkan hujan belerang dan api atas Sodom dan Gomora, berasal dari Tuhan, dari langit, dan ditunggangbalikkan-Nya-lah kota-kota itu dan Lembah Yordan dan semua penduduk kota-kota serta tumbuh-tumbuhan di tanah. Ketika Abraham pagi-pagi pergi ke tempat ia berdiri di hadapan Tuhan itu, dan memandang ke arah Sodom dan Gomora serta ke seluruh tanah Lembah Yordan, maka dilihatnyalah asap dari bumi membubung ke atas sebagai asap dari dapur peleburan" dan Kitab Al Qur'an Surat Huud: 82, "Maka tatkala datang azab Kami, Kami jadikan negeri kaum Luth itu yang di atas ke bawah [Kami balikkan], dan Kami hujani mereka dengan batu dari tanah yang terbakar dengan bertubi-tubi".

Laut Mati merupakan wilayah dengan kegempaan yang tinggi. Sepanjang sejarah dan sampai saat ini telah terjadi gempa-gempa dengan berbagai magnitude sampai 7,0+ dan umumnya dangkal (< 33 km).

Penemuan-penemuan arkeologi yang menunjukkan peristiwa-peristiwa kebencanaan di sekitar tempat yang dicurigai sebagai Sodom dan Gomora yaitu Bab edh-Dhra (Sodom) dan Numeira (Gomora), maka dapat ditafsirkan bahwa Sodom dan Gomora dibinasakan melalui rentetan bencana-bencana geologi dengan urutan: (1) gerakan Zona Sesar Laut Mati, (2) gempa, (3) letusan gunung garam/lumpur/batuan/aspal berbelerang, dan (4) kebakaran.

Semua kondisi geologi untuk mekanisme bencana di Sodom dan Gomora telah siap seperti telah diterangkan. Berdasarkan penafsiran atas, kitab-kitab suci di atas dan kondisi geologi, dapat kita bayangkan bahwa Tuhan pada suatu waktu menjelang subuh pada sekitar 2000 SM telah menggerakkan Zona Sesar Laut Mati (Sesar Moab) yang terletak tepat di bawah Sodom dan Gomora secara lebih khusus (secara umum zona sesar ini bergerak sinistral enam mm/tahun). Gerakan khusus ini telah mematahkan batuan yang teregang sekian lama karena tekanan oleh gerakan umum sesar. Sesar yang baru terbentuk karena gerakan tekanan secara khusus ini, mematahkan batuan secara mendatar karena Laut Mati berada di lingkungan tektonik sesar mendatar.

Pematahan batuan telah menyebabkan gempa dangkal (<33 km, berdasarkan data historis gempa-

Gambar 6. Peta menunjukkan interpretasi struktur, sesar-sesar utama, deposenter, dan penyebaran diapir garam. Penyebaran diapir-diapir garam ini dikontrol oleh sesar mendatar (ten Brink *et al.*, 1993). Pada peta ditunjukkan lokasi Sodom dan Gomora berdasarkan penggalian arkeologi. Foto-foto menunjukkan pilar-pilar garam yang muncul di lokasi Gunung Sedom (Jebel Usdum), merupakan bagian puncak diapir/gunung garam (Frumkin, 2009).

gempa di wilayah ini). Lokasi episentrum diperkirakan terletak di tepi tenggara Laut Mati di sekitar lokasi Sodom dan Gomora. Guncangan hebat terjadi di Sodom, Gomora dan sekitarnya. Penggalian arkeologi dan geologi (Donahue, 1985) menunjukkan bahwa kota-kota Sodom dan Gomora telah diangkat gempa setinggi 28-50 m, kemudian diruntuhkan ke sisi utara kota-kota tersebut. Magnitude gempa tidak diketahui, tetapi berdasarkan kisah kitab-kitab suci yang menceritakan bahwa bangunan-bangunan di kota-kota itu runtuh dan terbalik-balik atau terjungkirbalik serta morfologi Lembah Yordan pun terjungkirbalik, maka dapat diduga bahwa gempa tersebut menyebabkan kerusakan pada skala X-XII (*intense-cataclysmic*) Intensitas Mercalli yang berkorelasi dengan magnitude gempa 7,0+.

Harris dan Beardow (1995) mengajukan hipotesis bahwa pembinasaan Sodom dan Gomora melalui fenomena likuifaksi (*liquefaction – lateral spreading*) disebabkan gempa yang melanda dataran aluvial Lembah Sidim tempat lokasi Sodom dan Gomora. Dalam likuifaksi, struktur tanah akan runtuh oleh pelarutan dan akan menenggelamkan semua hal (bangunan, bentang alam, dan lain-lain) yang ada di atasnya. Oleh fenomena ini, kota-kota Sodom dan Gomora diperkirakan sudah tenggelam di bawah muka laut Laut Mati. Likuifaksi terjadi ketika tekanan tegasan (*shear stress*) yang diperlukan untuk menahan stabilitas lereng melampaui kekuatan tegasan (*shear strength*) yang bisa dipertahankan oleh tanah. Ini dapat terjadi karena likuifaksi berada di bawah beban dinamik, serta matriks tanah yang bersifat lepas cenderung menciut menuju keadaan kritis. Dalam kondisi beban yang tidak bisa dihilangkan, kelakukan penciutan ini akan diwujudkan dalam bentuk kenaikan tekanan pori-pori, sehingga mengurangi tekanan efektif, kekuatan tegasan dan ketegaran.

Penelitian geologi teknik di tepi Laut Mati menunjukkan bahwa selama musim hujan, banjir akan mengendapakan endapan berpasir bersifat lepas-lepas (*loose sands*), sedangkan selama musim kering, lanau dan lempung diendapkan. Ini telah menghasilkan struktur tanah berupa perselingan lapisan-lapisan endapan pasir yang dapat mengalami likuifaksi dipisahkan oleh lapisan-lapisan lanau yang relatif kedap (*impermeable*). Likuifaksi yang mungkin

terjadi pada zaman pembinasaan Sodom dan Gomora diperkirakan terjadi dalam radius beberapa km meskipun pada lereng yang landai.

Pematahan batuan dan gempa tersebut yang terjadi di lingkungan stratigrafi dan tektonik elisional, telah memicu gerakan diapirik pada beberapa formasi di Cekungan Laut Mati, yaitu lapisan halit, anhidrit dan gipsum Formasi Sedom yang berumur Pliosen dan semua lapisan silisiklastik Plistosen Formasi Amora dan Formasi Lisan. Gerakan diapirik ini juga mengenai akumulasi-akumulasi hidrokarbon dalam beberapa lapisan stratigrafi yang didominasi oleh aspal dan bitumen yang mengandung belerang. Gerakan diapirik ini, dikontrol oleh sesar mendatar sampai ke permukaan, sehingga menembus permukaan tanah sebagai gunung garam/gunung lumpur (*salt-mud volcanoes*) membawa materi-materi garam, anhidrit, gipsum Formasi Sedom, berbagai jenis batuan Formasi Amora dan Formasi Sedom, dan aspal, bitumen serta belerang yang secara serentak diletuskan, naik ke langit karena tekanan dan efek *jet stream*.

Aspal dan bitumen karena gesekan dengan udara atau mungkin terbakar petir yang ada saat itu kemudian menjadi sumber api. Semua materi yang diletuskan ini lalu kembali ke permukaan Bumi sebagai hujan api dan belerang yang nampak berasal dari langit (Kejadian 19 : 24) disertai batu-batuan dan tanah yang juga terbakar (Surat Huud : 82), juga semua endapan garam (halit, anhidrit) menghujani Sodom dan Gomora yang saat itu bangunan-bangunannya sudah terjungkirbalikkan oleh gempa (Gambar 7).

Bencana geologi ini menewaskan seluruh penduduk Sodom dan Gomora, kecuali tiga orang saja, yaitu Lot/Luth dan kedua putrinya (Gambar 7). Istri Lot pun tewas dan tertutup garam. Di selatan Laut Mati, banyak ditemukan pilar garam, diperkirakan sisa endapan letusan, dan orang-orang di sana umum menyebutnya dengan istilah *Lot's Wife* (Halley, 1965) (Gambar 6).

Demikian penafsiran jalannya pembinasaan Sodom dan Gomora berdasarkan kajian kondisi geologi Laut Mati dan kitab-kitab suci. Ketika Abraham pagi-pagi dari kejauhan (di Hebron, Pegunungan Yudea) memandang ke arah timur, ke arah Sodom dan Gomora, yang dilihatnya hanyalah asap dari bumi yang membubung ke atas seperti asap dari dapur peleburan (Kejadian 19 : 27). Dapat diduga bahwa pembinasaan Sodom dan Gomora hanya berlangsung beberapa saat saja pada suatu subuh. ■

DAFTAR PUSTAKA

Allen, P.A. dan Allen, J.R., 2005, *Basin Analysis - Principles and Applications*, Blackwell Publishing, Oxford.

Aydin, A. dan Nur, A., 1982, Evolution of pull-apart basins and their scale independence, *Tectonics*, 1, 91-105.

Ben-Avraham, Z. dan Zoback, M.D., 1992, Transform-normal extension and asymmetric basins: An alternative to pull-apart models, *Geology*, 20, 423-426.

Ben-Avraham, Z., dan Lazar, M., 2006, The structure and development of the Dead Sea Basin: Recent studies, *dalam* Enzel, Y., Agnon, A., dan Stein, M., ed., *New Frontiers in Dead Sea Paleo environmental Research: Geological Society of America Special Paper 401*, 1–13.

Clapp, F.G., 1936a, The Site of Sodom and Gomorrah, *American Journal of Archaeology*, 40, 323–44.

Clapp, F.G., 1936b, Geology and Bitumens of the Dead Sea Area, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 20, 881–909.

de Saulcy, F., 1853, *Voyage autour de la mer Morte et dans les terres bibliques*, Gide et J. Baudry, Paris.

Donahue, J., 1985, Hydrologic and topographic change during and after Early Bronze occupation at Bab edh-Dhra *dalam* Hadidi, A., ed., *Studies in the History and Archaeology of Jordan*, 131–140.

Frumkin, A., 2009, Formation and dating of a salt pillar in Mount Sedom diapir, Israel, *Geological Society of America Bulletin*, 121, 286-293.

Gardosh, M., Kashai, E., Shalhov, S., Shulman, H., dan Tannenbaum, E., 1997, Hydrocarbon exploration in the southern Dead Sea area, *dalam* Niemi, T.M., Ben-Avraham, Z., dan Gat, Y., ed., *The Dead Sea—The Lake and Its Setting*: Oxford University Press, Oxford, 57–72.

Garfunkel, Z., Zak, I., dan Freund, R., 1981, Active faulting in the Dead Sea Rift, *Tectonophysics*, 80, 1-26.

Halley, H.H., 1965, *Halley's Bible Handbook*, 24th ed., Zondervan Publishing House, Grand Rapids.

Harris, G.M. dan Beardow, A.P., 1995, The destruction of Sodom and Gomorrah: a geotechnical perspective, *Quarterly Journal of Engineering Geology & Hydrogeology*, 28, 4, 349-362.

Hunt, J.M., 1996, *Petroleum Geochemistry and Geology*, 2nd ed., W.H. Freeman and Company, New York.

Katzman, R., ten Brink, U.S., dan Lin, J., 1995, Three-dimensional modeling of pull-apart basins: implications for the tectonics of the Dead Sea Basin, *Journal of Geophysical Research*, 100, B4, 6295-6312.

Lembaga Alkitab Indonesia (LAI), 1984, *Alkitab*, LAI, Jakarta.

Manspeizer, W, 1985, The Dead Sea rift: impact of climate and tectonism on Pleistocene and Holocene sedimentation, *dalam* Biddle, K.T. dan Christie-Blick, N., ed., *Strike-Slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation*, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 37.

Microsoft Encarta, 2009, *Microsoft Encarta Enyclopedia Premium*, Microsoft, DVD-ROM.

Rast, W.E., dan Schaub, R.T., 1973, Survey of the Southeastern Plain of the Dead Sea, *Annual of the Department of Antiquities of Jordan,* 19, 5–53.

Rast, W.E., dan Schaub, R.T., 1980, Preliminary Report of the 1979 Expedition to the Dead Sea Plain, Jordan, *Bulletin of the American Schools of Oriental Research* 240, 21–61.

Reznick, L., 2010, *Does archeological data support the Biblical story?* http://www.aish.com/ci/sam/48931527.html, diakses 18 Januar1 2010.

Schaub, R.T., 1993, Bab edh-Dhra, *The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land*, Simon & Schuster, New York, 130–136.

Shanks, H., 1981, "BAR Interviews Giovanni Pettinato", *Biblical Archaeology Review*, 7 (6).

ten Brink, U.S., Ben-Avraham, Z., Bell, R.E., Hassouneh, M., Coleman, D.F., Andreasen, G., Tibor, G., dan Coakley, B.J., 1993, Structure of the Dead Sea pull-apart basin from gravity analyses, *Journal of Geophysical Research*, B 98, 21,877-21,894.

U.S. Geological Survey, National Earthquake Information Center, 2004, Magnitude 5.3 DEAD SEA REGION 2004 February 11 08:15:03 UTC, http:// neic.usgs.gov/neis/ eq_depot/2004/eq_040211/

U.S. Geological Survey, National Earthquake Information Center, 2010, *World Seismic Database*, http:// neic.usgs.gov

ValuSoft Inc., 1999, *Bible Library* -special edition, version 4.0 (CD-ROM software).

Wikipedia, 2010, Sodom and Gommorah, http://en.wikipedia.org/wiki/Sodom_and_Gomorrah_

Wood, B.G., 2000, *The Discovery of the Sin Cities of Sodom and Gomorrah*, Ankerberg Theological Research Institute.

Yayasan Penyelenggara Penterjemah/Pentafsir Al Qur'an (YPPPA), 1971, *Al Qur'an dan Terjemahannya*, YPPPA, Jakarta.

Zak, I., 1967, *The Geology of Mount Sedom [Ph.D. thesis]*: Jerusalem, The Hebrew University.

(Tulisan ini pernah dipresentasikan dalam Pertemuan Ilmiah Tahunan Ikatan Ahli Geologi Indonesia, Lombok, 2010).

Penulis bekerja di BPMIGAS Jakarta.

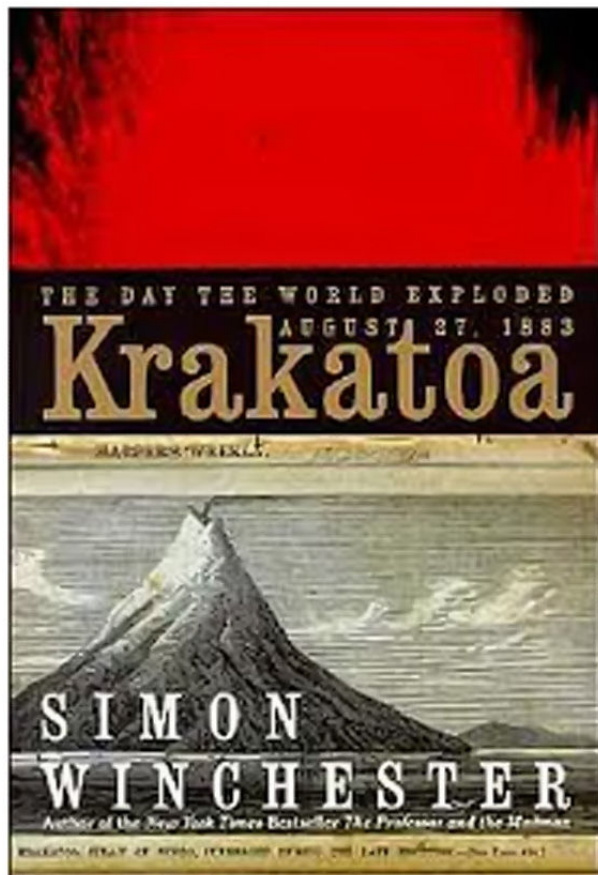
Resensi

Buku

Krakatau:

Ketika Dunia Meledak dan Lampung Karam

Senin 27 Agustus 1883, Selat Sunda mengalami kiamat. Letusan dahsyat gunung api yang berada di tengah-tengah selat yang memisahkan Pulau Jawa dan Pulau Sumatra itu telah menggegerkan dunia. Pantai-pantai yang berhadapan, baik di Jawa (Banten), maupun di Sumatra (Lampung), mengalami akibat yang mengerikan akibat tsunami yang ditimbulkan ledakan gunung api itu: Krakatau. Dua buah buku tentang ledakan Krakatau yang diresensi di Geomagz No. 3 edisi September 2011 ini bolehlah sebagai peringatan ke-128 tahun letusan Krakatau. Buku pertama adalah Krakatau, Ketika Dunia Meledak, 27 Agustus 1883 ditulis oleh Simon Winchester, dan buku kedua Syair Lampung Karam yang disusun oleh Suryadi dari naskah bahasa Melayu dengan aksara Arab-Melayu (Jawi) yang aslinya ditulis oleh Muhammad Saleh.

<table>
<tr><th colspan="2">Krakatau, Ketika Dunia Meledak
27 Agustus 1883</th><th colspan="2">Syair Lampung Karam, Sebuah Dokumen Pribumi Tentang Dahsyatnya Letusan Krakatau 1883</th></tr>
<tr><td>Pengarang</td><td>Simon Winchester</td><td>Pengarang</td><td>Suryadi</td></tr>
<tr><td>Penerbit</td><td>Serambi</td><td>Penerbit</td><td>Komunitas Penggiat Sastra Padang (KPSP)</td></tr>
<tr><td>Tahun Terbit</td><td>2006</td><td>Tahun Terbit</td><td>2009 (cetakan I),
2010 (cetakan II)</td></tr>
<tr><td>Tebal</td><td>503 halaman</td><td rowspan="4">Tebal</td><td rowspan="4">206 halaman</td></tr>
<tr><td>Judul Asli</td><td>Krakatoa, The Day the World Exploded: August 27, 1883</td></tr>
<tr><td>Penerbit</td><td>HarperCollins Publisher, New York.</td></tr>
<tr><td>TahunTerbit</td><td>2003</td></tr>
</table>

Ketika Dunia Meledak

Membaca buku Simon Winchester yang aslinya berjudul *Krakatoa, The Day the World Exploded August 27, 1883* dan terbit pertama pada 2003, sangat mengasyikan. Buku itu telah diterbitkan dalam versi terjemahan Bahasa Indonesia pertama kali dengan judul *Krakatau Ketika Dunia Meledak 27 Agustus 1883* oleh Serambi (2006). Penerjemahnya, menerjemahkannya dengan bahasa yang enak dibaca. Tulisannya mengalir jernih dan tidak terperangkap dalam terminologi-terminologi akademis geologis. Sekalipun istilah-istilah teknis geologi tetap muncul, tetapi pembaca akan mudah memahami istilah tersebut karena ada penjelasannya pada kalimat berikutnya.

Namun demikian, penerjemah terlalu berhati-hati dalam banyak istilah geologi yang kadangkala memang sulit dicari padanannya dalam bahasa Indonesia. Kehati-hatian penerjemahan disiasati oleh penerjemah dengan tetap mempertahankan beberapa istilah dalam bahasa Inggris, seperti *porphyry*, *rift valley*, *pyroclastic flows*, dan sebagainya. Bahkan kata *ridge* dari *mid-oceanic ridge*, tetap dibiarkan dalam bahasa aslinya dan tidak diterjemahkan ke dalam 'pematang' atau 'punggungan' tengah samudera; hal yang sebenarnya sudah lumrah di Geologi.

Isi buku sekitar letusan Krakatau 1883 sangat komprehensif dan lengkap. Mulai dari gunung ini hanya sebagai legenda atau dari catatan-catatan pujangga lama, hingga hasil penelitian yang monumental dari RDM Verbeek, 1886, dan pembahasan buku Simkin & Fiske, 1983, yang sebenarnya kumpulan komprehensif dalam versi Inggris dari Verbeek 1886 dengan banyak ilustrasi yang menarik.

Pada bab-bab awal buku ini dengan menarik Winchester bercerita tentang latar belakang Indonesia, diantaranya mengenai Pujangga Surakarta Ranggawarsita yang menulis tentang adanya letusan Gunung Kapi yang diduga Krakatau sebelum letusan dahsyat 1883. Pada bab yang lebih ilmiah tentang Krakatau, ada kemungkinan Gunung Kapi yang dimaksud Ranggawarsita adalah letusan yang tercatat pada tahun 416 atau 535. Pada bab awal ini pula, Winchester memberi gambaran secara ringkas sejarah Indonesia sebagai jajahan Belanda, dan mengapa bangsa Eropa datang ke Indonesia untuk saling memperebutkan hasil bumi cengkeh, lada, dan pala.

Pada bab-bab berikutnya, Winchester membahas bagaimana Teori Tektonik Lempeng dibangun. Bab ini penting bagi pembaca yang belum mengenal geologi dan proses-prosesnya yang menyebabkan bagaimana gunung api terbentuk dan meledak. Diselipkan pula bagaimana kisah tragis usaha Alfred Wegenner yang tadinya dicemooh karena teori pengapungan benuanya, tetapi kemudian disanjung 70 tahun kemudian sebagai peletak dasar Tektonik Lempeng. Winchester juga membahas tentang Garis Wallace dan bagaimana hasil penelitian luas Alfred Russel Wallace di Nusantara mempengaruhi Charles Darwin menyusun teori evolusinya yang sangat terkenal dan kontroversial.

Bab-bab berikutnya kemudian berkembang pada saat-saat Krakatau meletus dan akibat-akibat setelahnya. Pada bab-bab ini, Winchester banyak membahas tulisan RDM Verbeek "Krakatau" (1886) yang merupakan buku paling awal yang melaporkan letusan Krakatau 1883. Karena berbahasa Belanda, ia menyarankan pembaca untuk membaca buku karya Tom Simkin dan Richard S. Fiske "Krakatau 1883: The Vulcanic Eruption and Its Effect (Smithsonian Institution Press, 1983) yang banyak menerjemahkan karya Verbeek. Akan tetapi ilustrasi efek letusan itu ditulis dengan gaya bahasa bercerita sehingga menimbulkan efek yang mengasyikan kepada pembaca. Misalnya bagaimana terlemparkannya kapal uap Belanda sejauh 2,5 km dari garis pantai Teluk Betung yang bernama Berouw yang artinya 'penyesalan' dalam bahasa Belanda. Begitu pula kisah

kapal Loudon yang berjuang hidup mati di tengah-tengah Selat Sunda yang bergelora dalam hujan batu dan debu sampai akhirnya selamat berlabuh di Batavia dalam kondisi kapal yang compang-camping dalam arti sebenarnya.

Simon Winchester begitu piawai menulis buku-buku berbau geologi. Di antara buku-buku pertama yang ditulisnya adalah *The Map that Change the World*, tentang biografi juru ukur jalan di Inggris, William Smith. Karena ketekunannya membuat korelasi profil-profil lereng yang diukurnya, Smith mendapat pengakuan sebagai Bapak Stratigrafi dan membuat revolusi penting dalam Geologi. Petanya dianggap sebagai pencetus kelahiran Geologi modern saat itu.Selain buku tentang Krakatau dan William Smith, buku lainnya yang berbau geologi adalah tentang gempa bumi besar yang melanda San Fransisico 1906 *A Crack in the Edge of the World: America and the Great California Earthquake of 1906.*

Tentu saja Simon Winchester pandai menulis tentang geologi karena ia sendiri seorang ahli geologi lulusan St Catherine's College, Oxford, Inggris, dan sempat bekerja di Afrika dan rig minyak lepas pantai. Dari info yang tertulis di wikipedia, ia lahir di Skotlandia, 28 September 1944, dan sekarang tinggal di Massachusets, AS. Kepandaiannya menulis digembleng selama berkarir 20 tahun sebagai koresponden asing untuk The Guardian. Ia juga banyak menyumbang tulisan untuk *Condé Nast Traveler, Smithsonian Magazine,* dan *National Geographic*, serta kritikus buku untuk *The New York Times*.

Sudah sekitar 18 buku yang ditulisnya, dan tidak tentang geologi saja. Gaya penulisannnya adalah *feature*, mungkin karena pengalamannya bertahun-tahun sebagai penulis untuk berbagai publikasi. Bukunya selalu menyangkut satu tokoh (dan peristiwa yang mengikutinya) atau satu peristiwa yang merembet pada penceritaan tokoh-tokohnya yang terlibat di dalamnya.

Ketika Lampung Karam

Berbeda dengan buku Winchester yang dilengkapi data ilmiah geologi, buku karya Suryadi dengan judul lengkap "Syair Lampung Karam, Sebuah Dokumen Pribumi tentang Dahsyatnya Letusan Krakatau 1883" merupakan kumpulan transliterasi dari suatu syair yang ditulis oleh Muhammad Saleh tentang kesaksiannya atas bencana letusan Krakatau 1883. Pada awalnya Suryadi yang merupakan dosen di Universitas Leiden sejak 1998 mempresentasikannya pada Konferensi ke-24 Association of South East Asian Studies in the United Kingdom (ASEASUK) di Liverpool John Moores University pada 20 – 22 Juni 2008.

Suryadi, peneliti dan ahli naskah kuno (filologi) dan sastra klasik, kemudian mendapatkan informasi lain tentang naskah tersebut yang "tercecer" di enam negara yang berbeda.Akhirnya, pada 2009 ia berhasil menerbitkan secara lengkap naskah kesaksian bencana Krakatau itu dalam terjemahan Bahasa Indonesia melalui penerbit Komunitas Penggiat Sastra Padang (KPSP). Bukunya dengan editor jurnalis Kompas, Yurnaldi, kemudian diselipkan latar belakang letusan Krakatau. Pada Bagian 3 berbagai foto dan sketsa tentang Krakatau yang kebanyakan mengambil dari buku Simkin dan Fiske (1983), juga melengkapi buku ini.

Syair transliterasi lengkap terdapat pada Bagian 2 buku ini. Walaupun dengan gaya bahasa yang masih terasa asing bagi lidah kita sekarang, kita dapat mengikuti bagaimana Muhammad Saleh yang menuliskan tentang kengeriannya menyaksikan akibat Letusan Krakatau 1883 di suatu tempat di Kampung Bangkahulu, Singapura, yang sekarang kemudian bernama Bencoolen Street. Muhammad Saleh menulisnya hanya 3 bulan di tempat pengungsiannya di Singapura setelah letusan yang membuat dunia terguncang. Ribuan makalah dan buku terbit setelah peristiwa itu, dan naskah Muhammad Saleh baru mencuat 125 tahun kemudian setelah usaha keras Suryadi.

Sebagaimana umumnya syair, bagian awal naskah Syair Lampung Karam itu merujuk kepada latar belakang adanya kebobrokan moral masyarakat dan kesewenang-wenangan penjajah sehingga turunlah azab melalui letusan Krakatau. Setelah itu, naskah itu menggambarkan bagaimana letusan Krakatau yang diikuti adanya tsunami, membawa bencana yang mengerikan di pantai Lampung, mungkin tempat si penulis naskah menyaksikannya. Inilah beberapa kutipan syair kesaksian dahsyatnya letusan Krakatau yang diikuti tsunami yang membawa ribuan korban jiwa itu:

Pulau Sebuku dikata orang,
Ada seribu lebih dan kurang,
Orangnya habis nyatalah terang,
Tiadalah hidup barang seorang

....

Ada yang lari nyatalah terang,
Anak didukung ada di belakang,
Dipukul air tunggang-langgang,
Anak dilihat nyawanya hilang,

Air di situ sahaya khabarkan,
Naik ke darat bukan buatan,
Dua belas pal nyatalah, Tuan,
Dari tepi laut sampai daratan.

....

Beruntunglah ada Suryadi yang tekun mempelajari naskah-naskah lama sehingga menemukan syair Muhammad Saleh yang membuktikan bahwa bangsa kita pun ternyata cukup cendekia dalam melaporkan suatu peristiwa alam sekalipun dalam bentuk syair. Jika Simon Winchester hanya merangkai informasi-informasi tercecer yang ia tuliskan kembali menjadi bacaan yang memikat tentang ledakan Krakatau, Muhammad Saleh melihat sendiri dan mencatat akibat langsung ledakan Krakatau yang kemudian mempengaruhi dan menginspirasi para seniman dan penulis dunia itu. ■

Budi Brahmantyo

profil

Prof. Dr. R.P. Koesoemadinata

Bapak Geologi Migas Indonesia

Karl May telah membawa seorang remaja dalam petualangan-petualangannya. Impian bertualang di alam terbuka telah mengantarkannya menjadi mahasiswa Geologi, yang membukakan pintu-pintu petualangan berikutnya. Bukan hanya hutan belantara di pedalaman Indonesia yang telah dijelajahinya, namun juga di benua Amerika dan Eropa.

Impian bertualang terus berkelana dalam puncak pikiran Raden Prajatna Koesoemadinata. Impian itu tumbuh subur sejak usia 11-15 tahun, saat mulai membaca buku-buku petualangan karangan Karl May, seperti *Winnetou*, *Raja Minyak,* dan lain-lain. Khayalannya tumbuh, dan membayangkan, alangkah menyenangkannya bila suatu saat dapat bekerja di lembaga yang memungkinkan bertualangan ke mana-mana. Impian-impian masa remaja itu mendorongnya untuk mendaftar menjadi mahasiswa Geologi di Fakultas Ilmu Pasti dan Ilmu Alam Universitas Indonesia, sekarang ITB, walaupun orang tuanya tidak terlalu suka. Orang tuanya lebih suka bila putranya masuk Jurusan Pertambangan.

"Saya pernah ditanya oleh Profesor saya dulu waktu mahasiswa, mengapa masuk Jurusan Geologi? Saya menjawab sama, "Saya ingin menikmati petualangan di alam terbuka," kenangnya. Lebih lanjut R.P. Koesoemadinata mengatakan, "Alam terbuka itu lebih enak untuk dinikmati sambil duduk di kursi dan membacanya di buku daripada dalam kenyataannya." Memang keindahan alam itu terlihat lebih indah dibaca dan di televisi. *He… he… he*…."

Setelah menamatkan studi di Geologi ITB, tahun 1960 Koesoemadinata diangkat menjadi dosen di Jurusan Teknik Geologi ITB. Pendidikan lanjutannya di Queen's University, Ontario Canada dan di Colorado School of Mines, Amerika Serikat, sampai memperoleh gelar *Doctor of Science* pada tahun 1968, dan pada tahun 1986 mendapatkan gelar Profesor Geologi. Lingkup perhatian utamanya adalah sedimentologi dan sumber daya energi, serta banyak mencurahkan perhatiannya dalam ilmu pengendapan batubara. Bahkan, akhir-akhir ini, juga memberi perhatian terhadap Geowisata. Ilmu dan pengalamannya yang cemerlang, telah membawanya menjadi konsultan di Industri perminyakan dan pertambangan di Indonesia, seperti di Pertamina, Cities Cervice, Amoco, Mobil Oil, Unocal, Elf Acquitane, H. Patragas, PT. Aneka Tambang, PT. Tambang Batubara Bukit Asam, dan lain-lainnya.

Impiannya untuk bertualang keliling Indonesia atas biaya orang lain terlaksana dan semakin terbuka. Petualangan-petualangan yang rata-rata selama satu bulan di hutan hujan tropis itu, sekaligus mengerjakan tugas penelitian dengan menggunakan bor, pemetaan geologi untuk kepentingan eksplorasi minyak dan gas bumi, serta batubara. Prajatna muda menjelajahi pegunungan dan perbukitan di Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Aceh, Sumatra Utara, Tapanuli, Sumatra Barat, Sumatra Selatan, Lampung, Kalimantan Barat, Kalimantan Timur, Kalimantan Selatan, Sulawesi Selatan, Papua, dan Maluku.

Pengalaman lapangan itu, ekstrim sekalipun, selalu indah untuk dikenang. Waktu di Papua, misalnya, kelompok kecil peneliti dan tim pendukung di*drop* dengan helikopter di suatu tempat di tengah hutan. Di sana tinggal bersama penduduk setempat. Kalau cuaca tidak mendukung, helikopter tidak datang menjemput. Itu suatu hal yang menjadi biasa. Atau, ketika berkemah di tepi sungai, saat nyenyak tidur di malam yang hening, tiba-tiba datang banjir. Pengalaman paling menyiksa ketika di Papua adalah digigit kutu maleo, sehingga semalaman diserang gatal-gatal. Selain digigit kutu maleo, juga, diserang malaria, tapi baru terdeteksi dua minggu kemudian ketika penelitian lapangan di Medan saat diperiksa dokter.

"Saya pernah ditanya oleh Profesor saya dulu waktu mahasiswa, mengapa masuk Jurusan Geologi? Saya menjawab sama, "Saya ingin menikmati petualangan di alam terbuka," kenangnya.

Pengalaman lapangan itu menjadi cerita menarik yang selalu indah untuk dikenang, walaupun saat pergi ke daerah pegunungan dan hutan belantara itu kadang tidak menyenangkan. Untuk sampai ke tempat itu sering mengalami kesengsaraan, apalagi kalau bekerja di tengah rimba yang lembab, banyak nyamuk, dan banyak macam-macam ular. Selain badan lemas dan capai, diserang gatal-gatal, itu merupakan suatu hal yang bukan kenikmatan. Diguyur hujan lebat saat di tengah hutan belantara, pernah tertinggal di hutan sehingga harus berkemah untuk beberapa waktu, saat menyelamatkan diri dari banjir, atau ketika dikejar-kejar gajah, dan penderitaan paling menyiksa karena digigit kutu maleo.

Bukan hanya dapat bertualang di dalam negeri, penggemar bacaan Karl May itu telah menjelajahi tempat-tempat di luar negeri, seperti: Canada (tepi pantai Danau Huron, Ontario, Nova Scotia), Amerika Serikat (Colorado, Utah gurun), Texas, New Mexico, Arizona (Grand Canyon), dan keliling Eropa sebagai turis: ke Inggris, Scotlandia, Perancis, Swiss, Itali, Pegunungan Alpina, Jerman, dan Belanda.

Raden Prajatna Koesoemadinata, biasa disingkat RPK, atau R.P. Koesoemadinata, dan lebih akrab panggil pa Koesoema, lahir di Bandung, 29 Januari 1936. Putra ke empat dari pasangan R. Machjar A. Koesoemadinata dan Ny. R. Saminah, menikah dengan Aisjah Abdulkadir dan dikaruniai tiga orang anak. Prajatna dibesarkan dalam lingkungan kesenian

R.P. Koesoemadinata dan tim dalam penelitian lapangan.
Foto: Dok. R.P. Koesoemadinata

Sunda. Ayahnya, R. Machjar A. Koesoemadinata adalah seorang peneliti otodidak dalam bidang etnomusikologi Sunda. Namanya tercantum dalam *Dictionary of Music* yang terbit di Amerika Serikat, dan dikenal sebagai pencipta *tangga nada* untuk lagu-lagu yang disebut *da-mi-na-ti-la*.

R.P. Koesoemadinata pernah menjadi Ketua Ikatan Ahli Geologi (1973-1975) dan menjadi anggota beberapa organisasi keilmuan internasional dan penerima *Special Commendation Award* tahun 1994 dari *The American Association of Petroleum*. Pak Koesoemadinata memasuki masa pensiun tahun 2001, tetapi sampai sekarang masih aktif mengajar beberapa mata kuliah, seperti Geologi Eksplorasi, Georiset, Geokonsep, Sedimentasi Karbonat dan Geologi Bawah Permukaan.

Di mata para mahasiswa dan alumninya, Prof. Koesoemadinata itu dikenal sebagai pribadi yang seluruh hidupnya didedikasikan untuk ilmu kebumian, dan dosen yang dapat memberikan rangsangan untuk membuka wawasan keilmuan. Pak Koesoema selalu mau berbagai ilmu dengan siapa pun, kapan pun, dan dengan sabar dalam memberikan pemecahan persoalan. Tak mengenal usia untuk terus belajar, dan mengikuti perkembangan jejaring sosial, termasuk *facebook*. Itulah sebabnya, Prof. Koesoemadinata menjadi *benchmark* untuk tiga hal, yaitu ilmu geologi, penelitian lapangan dan moral. Semoga ini menjadi spirit bagi kita semua.

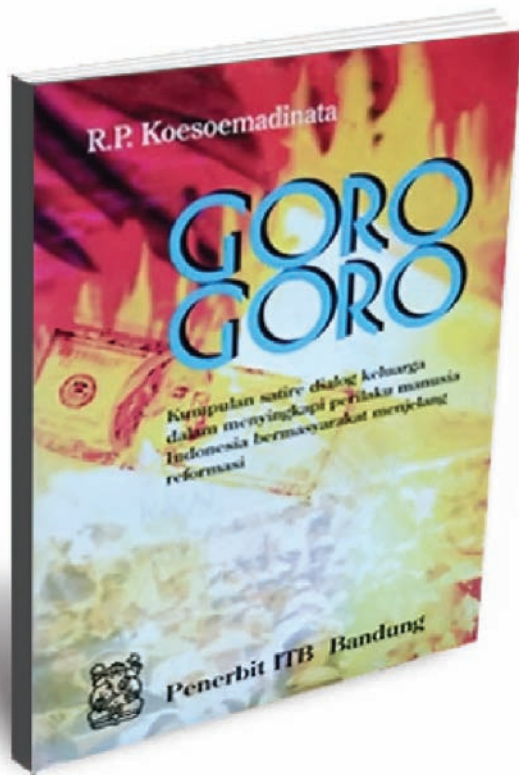
Untuk mengetahui opini Prof. Dr. R.P. Koesoemadinata (RPK) tentang peran ilmu geologi dalam pembangunan, berikut ini petikan hasil wawancara Geomagz yang dilakukan oleh T. Bachtiar di rumahnya yang asri di Ciburial, Bandung.

Geomagz: Apa arti penting ahli geologi bagi Indonesia?

RPK: Wah, iya, itu jelaslah tidak perlu dipertanyakan lagi. Pertama, jelaslah, bagaimanapun juga Indonesia menjadi negara industri, yang industri pertambangannya harus maju. Pertambangan itu sangat tergantung kepada para ahli geologi. Kalau tidak ada ahli geologi, bagaimana bisa dikembangkan, ditemukan endapan-endapan mineral, sumber gas bumi, dan sumber daya lainnya. Bagaimana bisa dikembangkan, bila tidak ada ahli geologi? Itu yang jelas, jadi tidak perlu diragukan lagi, bahwa industri itu dasarnya dari pertambangan. Kini, malah hasil tambang kita diekspor ke Jepang, ke Cina, dan kita banyak impor dari negara lain.

Geomagz: Secara statistik, apakah para ahli geologi sudah memenuhi kebutuhan?

RPK: Ya, itulah. Indonesia sangat tergantung dari investasi. Kalau iklim investasinya baik, tentu banyak yang mau investasi dalam bidang pertambangan. Kalau ada investasi dalam bidang pertambangan, maka kebutuhan akan ahli geologi akan meningkat.

Ekonomi kita menganut sistem *suply* dan *demand*, dan menganut sistem persaingan bebas. Ya, jelas, kalau kebutuhan akan ahli geologi itu tergantung dari investasi. Kita bukan lagi negara yang menganut ekonomi sentral lagi, yang kebutuhannya ditentukan oleh Pemerintah. Butuh ahli geologi sekian untuk

bidang ini, sekian untuk migas, dan lain-lain. Ya, sekarang tergantung dari adanya investasi itu tadi. Kalau tidak ada investasi, apakah pemerintah juga akan menciptakan lapangan pekerjaan? Mungkin juga dengan otonomi daerah, harusnya pemerintah daerah membutuhkannya, karena sekarang, *kan*, pemerintah daerah yang memberi izin pertambangan, terutama batubara, emas dan sebagainya. Karena di daerah-daerah itu harus mempunyai staf sendiri. Jadi untuk memenuhi kebutuhan itu, kalau ada sekian Kabupaten di Indonesia, ya, bisa dilihat jumlah kabupaten, maka akan muncul berapa kebutuhan itu. Kalau tidak satu orang, ya, dua atau tiga orang, atau mungkin juga setiap kabupaten mau mendirikan badan survei geologinya sendiri. Itu bisa saja terjadi. Kalau tidak ada investasi, maka kebutuhan itu akan berkurang tentunya. Pegawai pemerintah juga akan berkurang.

Geomagz: Bukankah sudah ada Dinas ESDM di tingkat Provinsi dan kabupaten/kota?

RPK: Bisa saja terjadi kalau misalkan Bupatinya ingin mempunyai sumber data sendiri yang tidak tergantung dari pusat. Tapi setahu saya ini, *kan*, belum terjadi. Dulu baru sampai apa yang disebut kantor wilayah (Kanwil). Tapi, sekarang itu dikatakan cukup atau tidak cukup, tergantung dari keadaan sekarang. Saya melihat masih kurang.

Masih banyak perusahaan-perusahaan nasional, masih banyak perusahaan nasional dalam bidang minyak bumi, batubara. Saya kira kebutuhan itu masih banyak, tapi tentu makin lama akan semakin selektif. Tidak setiap lulusan geologi diterima begitu saja, harus diseleksi. Jadi itu jelas, kebutuhan akan ahli geologi itu bergantung dari investasi dalam bidang pertambangan, terutama asing. Itu yang menentukan kebutuhan.

Geomagz: Apakah para ahli kita kualifikasinya sudah memenuhi standar yang dibutuhkan?

RPK: Ya, tergantung standar mana yang dipakai. Kalau standar internasional, sebetulnya bukan standar internasional, ya, tetapi standar negara mana yang dipakai. Kalau acuannya standar Australia, sebagian ahli mungkin sudah memenuhi kualifikasi itu. Tapi kelihatannya, kalau untuk pertambangan dan industri batubara, sekarang ini mengacunya kepada standar Australia.

Saya tidak tahu, apakah semua sudah atau belum memenuhi standar, karena yang menentukan standar itu negara kita sendiri. Apakah negara kita sudah menentukan standar pertambangan? Di Indonesia kebanyakan, kalau ada investor asing ingin melakukan penelitian dan melibatkan para ahli kita, ahli itu harus mengikuti standar Australia, misalnya. Paling tidak, kalau mengikuti standar Australia, saya kira tidak ada masalah.

Geomagz: Bagaimana mengenai para ahli geologi kita di luar negeri?

RPK: Itu sebagai konsekuensi negara kita yang menganut sistem persaingan bebas. Dengan demikian, banyak orang Indonesia yang mendapatkan perkerjaan yang lebih baik di luar negeri. Mengapa tidak? Memang kenyataannya banyak ahli geologi Indonesia yang bekerja di seluruh dunia, ada di mana-mana, di Malaysia banyak, ada ratusan, mereka juga ada di Abudabi, di Afrika, di Argentina, di Mongolia, di Siberia, di Australia, ya, bahkan di Eropa dan Amerika Serikat sendiri, jadi tersebar banyak sekali di seluruh dunia.

Jadi, kalau para ahli itu dipakai oleh perusahaan-perusahaan di luar negeri, itu artinya, kualifikasinya baik. Kalau tidak, pasti tidak akan dipakai. Jadi, saya pikir mengenai kualifikasi itu yang menentukan adalah pemakai. Kalaupun ada sertifikasi itu bagus, biar saja, tapi kalau sertifikasi tidak memenuhi standar-standar yang ditentukan oleh perusahaan pertambangan sesuai kebutuhannya, mungkin saja tidak akan terpakai. Jadi, kita bisa melihat, ada yang bekerja di mana-mana, di Amerika banyak, di Australia banyak.

Mereka kelihatannya bisa memenuhi standar di sana. Kalau begitu, ya, menurut saya banyak yang kualifikasinya baik.

Apakah semuanya kualifikasinya baik, saya tidak bisa menentukan. Itu tergantung dari individu masing-masing, karena kita menganut sistem perdagangan bebas, jadi siapa saja mau masuk, mau bekerja di sini, mau bekerja di luar, boleh saja. Itu tergantung berapa gaji yang ditawarkan. Kalau di luar negeri lebih baik, mungkin ia pilih juga di sana. Kalau di sini, selain gaji, ada hal-hal yang lebih baik, maka dia akan memilih di sini. Jadi keadaannya demikian, jadi bukan soal apakah sudah cukup para ahli dalam bidang pertambangan atau belum cukup, atau kekurangan atau kelebihan. Saya pikir aturannya bukan begitu. Kalau kelebihan, akan banyak ahli geologi yang beralih profesi. Memang, di lain pihak, ahli geologi, saya kira tidak terlalu susah untuk beralih ke profesi lain.

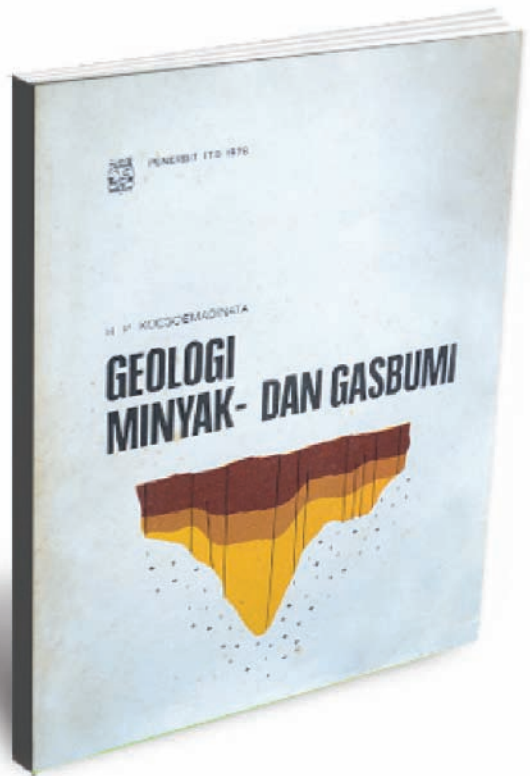
Geomagz: Apakah kualifikasi itu tergantung pada pendidikannya?

RPK: Pendidikan itu ikut menentukan, tapi akhirnya yang akan dinilai adalah individu masing-masing. Apakah setiap lulusan hasilnya akan sama? Tentu ada yang baik dan ada yang lebih baik lagi. Nah, itulah juga sama halnya dengan sertifikasi. Kualifikasi itu hanya keinginan-keinginan, "mitos" saja, tapi dalam kenyataanya tidak begitu, dalam kenyataanya tergantung pada kapabilitas masing-masing. Dasar-dasarnya mungkin sama.

Geomagz: Apakah kurikulum geologi di Perguruan Tinggi sudah memenuhi kebutuhan untuk pembangunan Indonesia?

RPK: Saya selalu mengatakan, kalau kurikulum itu menentukan dasar-dasar bagi ahli-ahli geologi. Tapi sebetulnya yang akan menjadikannya berkualitas atau tidaknya adalah setelah mereka bekerja. Kalau mereka bekerja, apakah perusahaan itu memberikan kesempatan untuk belajar sambil bekerja?

Yang penting, ilmu saat mereka mengikuti di Perguruan Tinggi itu memberikan dasar-dasar ilmu geologi, kemudian setelah itu, mereka bisa dan bahkan harus mencari tambahan ilmu sendiri supaya terus menerus *up-to-date* dengan perkembangan ilmu. Bahkan banyak ilmu yang didapatkan sewaktu masih mahasiswa, sewaktu kuliah. Misalnya, saya dengar di Geologi ITB tidak ada pelajaran khusus mengenai cara menggunakan perangkat lunak tertentu yang banyak dipakai dalam industri. Tapi ternyata dalam kenyataannya, mereka bisa menggunakan perangkat lunak itu.

Entah dari mana mereka belajarnya, apakah dari teman-temannya? Tapi jelas itu tidak diajarkan dan tidak ada dalam kurikulum. Tapi ternyata, kemampuan itu sangat dihargai oleh industri. Jadi kalau industri

mau mengambil seseorang, tinggal melihat apakah mampu atau tidak dia menggunakan perangkat lunak tertentu yang sebetulnya di ITB sendiri tidak diajarkan. Saya mengetahui itu dari mahasiswa sendiri dan juga dari orang-orang yang saya kenal di perusahaan.

Ketika saya bertanya kepada para mahasiswa, apakah kamu pernah menggunakan perangkat lunak itu? Dari mana kamu mendapatkan penguasaan itu? Jawabannya, saya belajar dari teman-teman. Jadi menurut saya, yang penting itu adalah ITB atau Perguruan Tinggi lainnya harus menyiapkan orang-orang yang mampu untuk terus belajar secara mandiri dan mengembangkan diri. Memang ada hal-hal yang tidak mungkin dilakukan atau belajar sendiri, seperti mengenali batuan, mengenali fosil, dan sebagainya.

Berbagai jenis pekerjaan lapangan mungkin bisa dipelajari sendiri, tapi banyak hal yang tidak bisa dipelajari sendiri. Banyak keahlian yang didapatkan setelah mereka lulus. Di dalam industri itu banyak sekali kursus-kursus yang ditawarkan secara komersial, yang biayanya sangat tinggi, yang tidak mungkin diikuti bila tidak bekerja di industri minyak atau di industri lainnya, karena mengikuti kursus-kursus itu harus dibiayai oleh perusahaan.

Jadi menurut saya, yang penting itu kemampuan untuk terus belajar. Kemampuan untuk dapat bekerja dan menyerap ilmu baru. Itu juga mengapa saya katakan demikian dan tidak perlu diajarkan di

universitas, saya kira di universitas itu belajar dasar-dasarnya saja. Berbekal dasar-dasar fisika, kimia, matematika, dan lain-lain itu, mereka bisa belajar hal baru, karena dasarnya sudah ada. Jadi bisa belajar yang baru seperti itu.

Misalnya, bila belajar lanjutan tentang seismik atau geokimia, mereka sudah tahu pelajaran fisika dan kimia. Jadi, mereka akan mampu untuk melanjutkan hal itu. Dan, teknologi itu berkembang terus. Apa yang di ajarkan di ITB dua tahun yang lalu, mungkin sekarang sudah lewat. Begitu, *kan*? Jadi ilmu dan teknologi itu akan terus berkembang. Tidak mungkin ITB harus mengajarkan sesuatu yang tiap tahun berubah terus. Tidak mungkin. *Hehehe*...

Geomagz: Jadi semua itu tergantung kepada alumninya untuk terus belajar?

RPK: iya, itu yang akan diminta oleh perusahaan, sehingga perusahaan juga harus memberikan pendidikan. Sebab pastilah perusahaan itu tidak mau ketinggalan. Jadi saya pikir dari segi kurikulum, saya kira tidak terlalu masalah, tapi saya kira banyak dalam kurikulum yang disebut mata kuliah pilihan, kadang-kadang pilihannya juga banyak yang "aneh-aneh". Yang penting, justru tidak diberikan, tapi, ya begitulah….

Geomagz: Mata kuliah pilihan itu tidak ada sangkut-pautnya dengan geologi?

RPK: kalau sangkut-pautnya dengan geologi mungkin ada, tapi kalau dengan industri tidak ada atau kurang. Misalnya geologi arkeologi. Menurut saya, yang diajarkan itu cukup baik. Untuk itu harus memberikan kesempatan kepada mahasiswanya untuk bisa mengikuti perkembangan teknologi, jangan harus tergantung dari pelajaran di kampusnya saja.

Geomagz: Di Indonesia ini banyak gunung api, seharusnya Indonesia menjadi pusat kajian gunung api. Bagaimana menurut bapak?

RPK: Sebetulnya memang di sini kita memerlukan orang-orang yang benar-benar ingin belajar gunung api, bukan sebagai profesi atau sebagai penghasilan, tetapi betul-betul minat, betul-betul menginginkan untuk melakukan penelitian-penelitian. Bahkan sebagai *hobby*!

Nah, tentu dalam hal ini penelitian mengenai gunung api memerlukan peralatan, memerlukan teknologi baru, memerlukan juga dana. Mungkin, sampai dimana Pemerintah memberikan dana untuk penelitian? Mungkin ada dana untuk menanggulangi

bencana alam, tapi apakah betul Pemerintah itu mau menyediakan dana untuk penelitian? Dan, kalau perlu Pemerintah mengundang orang-orang luar negeri untuk meneliti di sini. Diharapkan mereka membawa peralatannya ke sini. Mereka juga bisa meneliti di sini dan peneliti kita bisa ikut meneliti. Di Indonesia sudah cukup banyak data, sudah cukup banyak pengamatan, peralatan sudah cukup canggih. Hanya saja sudah sampai dimana ketekunan dari masing-masing untuk meneliti dalam bidang itu. Dia lebih senang menelitinya di Jepang dari pada di Indonesia. Jadi, itu soal minat dari orang-orang,

Tapi sekarang, yang berminat untuk meneliti gunung api kebanyakannya pegawai negeri, pegawai Badan Geologi, atau dari universitas.

Ya, jelas, dari luar negeri itu banyak beasiswa untuk belajar di sana. Pastinya dia akan memilih untuk belajar di luar negeri dari pada di sini, yang peralatannya juga tidak ada, keahliannya juga mungkin belum sampai seperti para ahli yang di luar negeri. Jadi kalau mau meningkatkan penelitian, saya pikir harus mau memanggil ahli dari luar dan mau membiayainya. Itu agak sulit untuk mendapatkan anggaran untuk penelitian yang murni, karena dari pertanyaan, penelitian ini manfaatnya untuk apa, paling-paling manfaatnya untuk mitigasi bencana.

dan minatnya itu sudah sampai dimana. Sebetulnya kalau di industri minyak lebih banyak ahli, jadi yang dipakai di luar negeri karena tertarik oleh gaji yang diterimanya, sehingga ia berusaha paling baik bekerja di dalam bidangnya. Mungkin kalau di sini kurang begitu berminat.

Semua orang juga bisa mempertanyakan, misalnya, mengapa keahlian tentang fosil Vertebrata kurang berkembang di sini? Mungkin itu karena tidak ada yang berminat, atau juga keahlian itu menjadi kurang begitu berkembang karena banyak orang yang berminat itu tergantung sekali dari jabatan di pemerintahan, bukan mau kerja di mana. Yang saya pikir seharusnya industri di Indonesia sendiri

juga mempunyai minat untuk mendanainya, seperti di Amerika Serikat, di sana banyak yayasan-yayasan didirikan yang disumbang oleh industri, selain dari dana masyarakat. Misalnya saja *National Geographic Magazine,* banyak mendanai penelitian-penelitian.

Geomagz: Dananya dari masyarakat?

RPK: Dari masyarakat itu sendiri, dari institusi-institusi, dengan bekerja-sama dengan yayasan-yayasan. Dana Pemerintah Amerika Serikat pun sangat terbatas untuk ilmu-ilmu itu, jadi harus muncul dari masyarakat sendiri. Mereka yang mempelajari dinosaurus dan sebagainya, itu *kan* dana-dananya dari masyakat, dari yayasan dan sebagainya. Di sana Pemerintahnya memberikan kemudahan dalam segi pajak bagi perusahaan yang mau mendukung ataupun membiayai proyek-proyek keilmuan, sepertinya juga seni. Juga para ahli dalam ilmu-ilmu murni itu rajin untuk mencari sendiri dana penelitian dari yayasan-yayasan swasta. Di Indonesia mungkin minat industri itu baru sebatas pada mensponsori seni dan olahraga. Kalau untuk keilmuan susah. Kalau olahraga, seni, *kan*, masyarakat umum dapt melihat siapa yang mensponsori.

Geomagz: Bapak pernah menulis buku teks ilmiah tentang *Geologi Minyak dan Gas Bumi*. Apa hambatannya untuk menulis buku lainnya?

RPK: Saya sendiri punya hambatan dan merasakan sendiri bagaimana sulitnya mempunyai waktu untuk menulis suatu buku. Misalnya saja buku yang saya tulis, sekarang ini umurnya sudah lebih dari tiga puluh tahun, dan itu sudah harus direvisi lagi. Saya sudah berniat untuk merevisi, tetapi sampai sekarang rasanya tidak ada waktu untuk itu. Selain menulis buku *Geologi Minyak dan Gas Bumi*, saya juga sedang menulis buku lain, yaitu *Pengantar Geologi Indonesia*. Sampai sekarang naskah-naskahnya sudah ada, namun masih berserakan, harus disatukan dan diedit. Itu juga memakan waktu.

Penyelesaiannya terus mundur, sebetulnya tulisannya sudah mencapai 60%, bahkan sudah 70%. Tinggal dirangkum, diedit kembali, disatukanlah. Tapi sampai sekarang juga terus-menerus waktunya mundur. Masalahnya banyak sekali, masalah pekerjaan, banyak yang minta tolong untuk membereskan ini, membereskan itu, urusan keluarga, sampai terpikir, saya itu berkejaran dengan umur. Saya *kan* sekarang sudah 75 tahun, apakah saya masih mampu menyelesaikan itu sebelum umur 80? Coba kalau saya sudah sampai 80 tahun, saya pikir mungkin fisik saya sudah agak repot, ya tidak tahulah, mudah-mudahan masih hidup dan masih bisa.

Tapi saya harus menentukan *deadline* untuk menyelesaikan buku. Itulah sebabnya para ahli geologi yang lain pun masing-masing juga mempunyai kesibukan sendiri-sendiri untuk menulis buku. Buku *Geologi Minyak dan Gas Bumi* itu saya susun saat saya berumur 30-40 tahunan. Saat itu kondisi kesehatan masih sangat baik. Waktu itu saya punya sekretaris yang membantu mengetik. Saya kemudian meng-edit ulang, itu yang membuat proses buku itu cukup cepat. Yang lama itu proses editing dan mencari gambar-gambarnya untuk ditampilkan. Ya, mudah-mudahan buku itu akan segera diterbitkan kembali. Tapi saya bisa merasakan kesulitan yang saya alami untuk menulis buku itu juga dialami yang lain.

Jangan pernah mengorbankan kebenaran ilmu demi kekuasaan atau demi uang. Bila itu dilakukan oleh pribadi atau atas nama organisasi, hal ini akan menjadi lembaran hitam, lembaran gelap dalam sejarah ilmu geologi Indonesia….

Geomagz: Sehingga kalau mencari rujukan untuk kasus Indonesia malah tulisan orang asing yang dirujuk?

RPK: Ya, sebetulnya selain yang berupa buku teks banyak makalah-makalah oleh ahli geologi Indonesia yang telah terbit, bahkan yang diterbitkan dalam majalah internasional. Banyak tulisan-tulisan di Indonesia mengenai geologi Indonesia, bahkan waktu saya menyusun buku, digunakan data-data dari publikasi-publikasi atau jurnal yang ditulis oleh orang-orang Indonesia, walaupun tidak diterbitkan berupa buku.

Geomagz: Beberapa tahun Bapak menulis kolom satir sosial di surat kabar?

RPK: Itu tulisan tentang satir gaya hidup, bukan politik. Kalau menurut saya, itu sindiran terhadap keadaan sosial kita dan terhadap masyarakat kita sendiri. Tulisan itu merupakan sindiran terhadap tingkah laku masyarakat Indonesia. Kadang-kadang masyarakat Indonesia itu suka "aneh-aneh". Kolom di surat kabar selama hampir 4 tahun itu sudah dibukukan dengan judul *Goro Goro*, diterbitkan oleh Penerbit ITB, dan buku itu sudah habis dan tidak dicetak lagi.

Tulisan-tulisan satir itu semacam ekspresi saya ketika melihat tingkah laku masyarakat Indonesia di zaman yang menggelikan. Jadi penulisannya itu bersifat humoristis. Memang kadang-kadang tulisan-tulisan itu ada juga hubungannya dengan ekonomi dan

politik, tapi saya pikir, lebih banyak sosialnya dari pada politiknya.

Geomagz: Apa yang bapak harapkan dari para ahli geolog muda Indonesia?

RPK: Saya pikir, ya, ada kecenderungan dan memang itu zamannya, bahwa semua dikerjakan dengan komputer. Saya kira anak-anak sekarang luar biasa dalam menggunakan perangkat komputer dan data-data informasi dari internet. Saya kira itu luar biasa sekali, sangat terampil. Namun di lain pihak, saya agak kecewa kepada mereka itu, karena banyak yang sudah lepas dari lapangan. Menurut saya, mereka ada yang sudah tidak mampu lagi mengadakan penelitian lapangan. Mereka lebih banyak di komputer canggih, tapi di lapangan tidak secanggih apa yang saya harapkan.

Geomagz: Bukankah yang diolah di komputer itu datanya dari lapangan?

RPK: Ya, datanya bisa dari lapangan, tetapi data itu dapat juga diperoleh dari laporan, bisa dari data seismik, bisa dari data pemboran. Laporan itu, *kan* didasarkan dari hasil orang lain. Di lapangan, kelihatannya kurang begitu mahir karena ada ketergantungan dengan menggunakan perangkat-lunak yang canggih di komputer.

Geomagz: Atau tidak mau berbasah-basah, bergatal-gatal?

RPK: Ya, itu juga betul, selain itu kemampuan mereka di lapangan itu. Sekarang begini, apakah mereka mampu atau tidak membuat sketsa penampang geologi di lapangan? Bisakah mereka membuatnya tanpa menggunakan perangkat lunak di komputer?

Geomagz: Menggambar geologi berarti perlu digalakkan lagi?

RPK: Barangkali sudah dilaksanakan.

Geomagz: Jadi wajar ya kalau sekarang tidak bisa?

RPK: Dulu kan pernah belajar mengenai membuat sketsa lapangan, tetapi sekarang dengan banyaknya kamera digital mereka dapat menggunakan di lapangan. Tapi, sketsa lapangan itu tergantung konsep, tergantung pengertian apa yang ingin mendapat penekanan. Kalau digital, apanya yang dilihat? Bagaimana, ya, mungkin juga masih ada beberapa, mungkin juga cukup banyak orang yang masih senang bekerja di lapangan. Saya kira banyak juga mereka yang tergantung pada perangkat lunak di komputer. Ini yang saya kurang begitu setuju. Jadi kalau tergantung pada perangkat lunak, *kan*, susah untuk berkembang. Dia hanya bisa melakukan apa yang perangkat lunak bisa lakukan.

Geomagz: Ada lagi yang ingin bapak sampaikan?

RPK: Jangan pernah mengorbankan kebenaran ilmu demi kekuasaan atau demi uang. Bila itu dilakukan oleh pribadi atau atas nama organisasi, hal ini akan menjadi lembaran hitam, lembaran gelap dalam sejarah ilmu geologi Indonesia…. ■

T. Bachtiar

Geotrek

Curug Malela

Wow Keren!

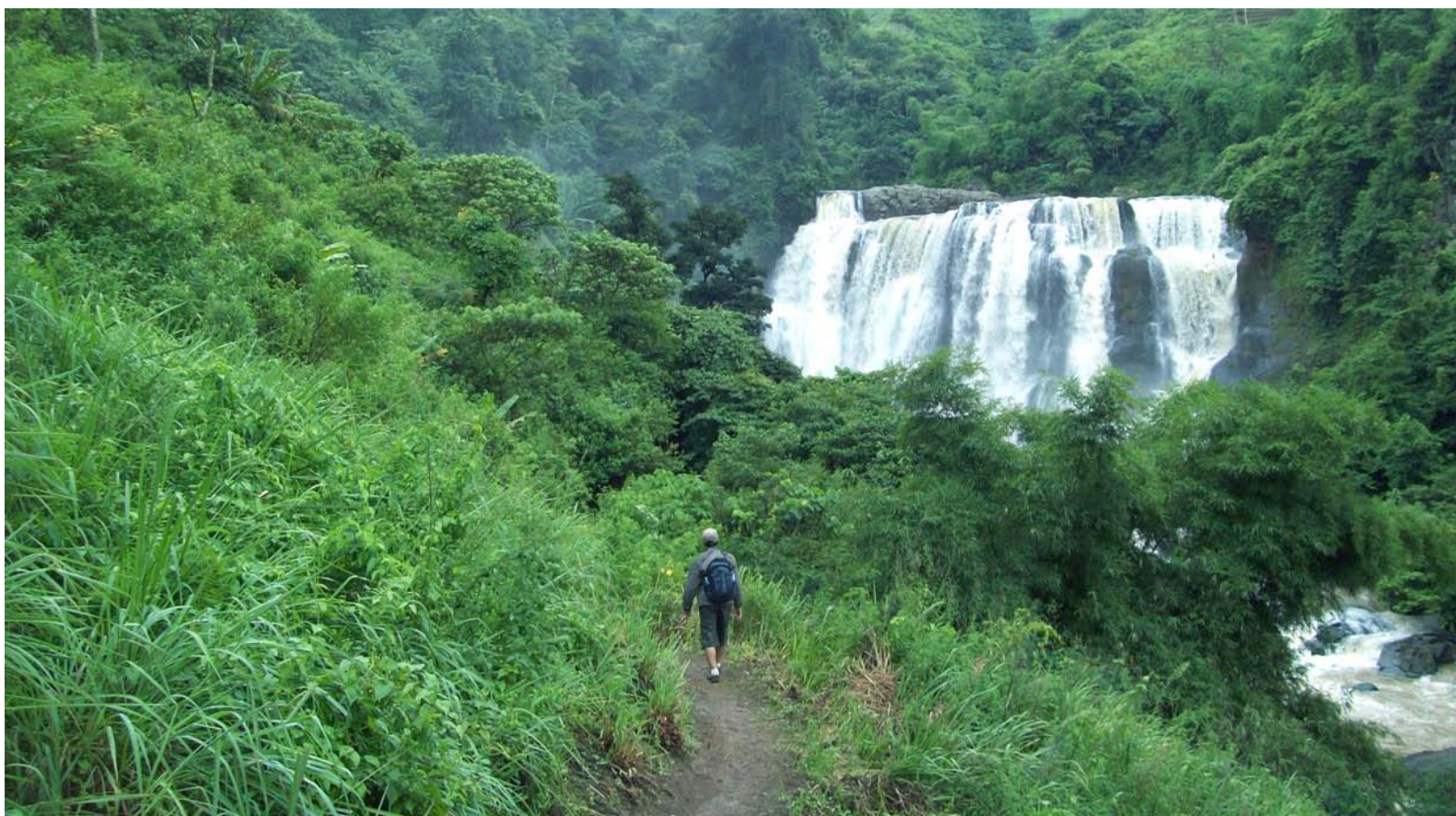
Oleh T. Bachtiar

Gerimis sudah turun di Lembur Cicalengka, di ujung jalan yang pernah diratakan dengan batu dan sedikit aspal. Dari sana perjalanan dilanjutkan di jalan tanah berbatu. Hanya kendaraan yang tinggi yang dapat melanjutkan perjalanan, yang lainnya sebaiknya diparkir saja di sekitar permukiman, lalu berjalan kaki atau naik *ojeg* menuju lokasi.

Bagi yang belum pernah naik *ojeg* di jalanan berbatu dengan tanah yang super licin saat diguyur hujan, saya menyarankan untuk mencobanya. Pastilah akan puas, karena dengan ongkos Rp 40.000,00 - Rp 60.000,00, kita akan dibawa dalam ketegangan yang panjang, seperti naik *jetcoaster*, atau laksana naik motor dalam pertunjukan *tongsetan*.

Motor tua dengan suaranya yang nyaring, akan menderu-deru di medan berbatu yang membuat penumpangnya terguncang-guncang. Dan bila melewati medan tanah yang licin, ban motor sering kali tak berputar, tapi melorot cepat, sehingga tukang *ojeg* harus mengeluarkan otot tangan untuk menjaga keseimbangan, dan dua kakinya dibentuk menjadi huruf V terbalik, menjadi penyangga bila tangan tak kuat lagi menahan beban. Pengalaman yang luar biasa menantang. Percayalah, tukang *ojeg* di sana sudah berpengalaman melaju di medan licin berbatu selama bertahun-tahun, mengangkut orang maupun barang. Saya sarankan, segeralah minum teh hangat begitu turun dari *ojeg*, mudah-mudahan dapat menghilangkan ketegangan.

Dilematis memang. Bila ingin melihat Curug Malela dalam keadaan puncak keindahannya, datanglah saat musim penghujan, ketika air sungai berlimpah, sehingga lebar air terjun itu terisi penuh. Inilah yang membedakan air terjun ini dengan air terjun lainnya yang biasanya hanya dua meter lebarnya. Tapi, bersiaplah dengan jas hujan, karena selepas duhur, hujan biasanya akan segera turun. Dan, hati-hatilah berjalan di tanah yang menurun tajam, apalagi bila memakai sepatu yang tidak sesuai untuk medan tanah yang licin.

Kemegahan Curug Malela akan menghapus segala penat dan kesal selama berjalan di jalanan tanah sedikit berbatu sejauh lebih dari 7 km. Gemuruhnya terdengar hingga jarak 3 km. Begitu jalan menukik tajam, di kejauhan sudah terlihat air terjun yang megah. Pastilah pemandangan itu akan memaksa kaki untuk terus menuruni jalan setapak yang menurun, yang licin kalau diguyur hujan.

Kemegahan Curug Malela, gemuruhnya terdengar hingga jarak 3 km.
Foto: T. Bachtiar

Memang tidak mudah untuk mencapai Curug Malela yang berada di Lembur Manglid, Desa Cicadas, Kecamatan Rongga, Kabupaten Bandung Barat. Hanya pengunjung yang niat betul yang akan sampai di tempat ini. Dari Bandung perjalanan menuju Cililin, Sindangkerta, Gununghalu, dilanjutkan ke arah Bunijaya. Sebelum mencapai terminal, ada persimpangan yang melintasi Ci Dadap menuju Desa Cibedug. Jalan masih beraspal saat melintas di perkebunan Montaya, bahkan hingga batas akhir Lembur Cicalengka, walau sedikit berlubang. Selepas itu perjalanan dilanjutkan di jalan yang sangat merindukan aspal sampai Desa Cicadas, menerus sampai Lembur Manglid. Dari sini perjalanan menurun di antara pohon pinus dan serehwangi.

Ketika sampai di persawahan yang bertingkat-tingkat, di lereng pematangnya banyak sekali tumbuhan kecil berbunga putih lima kelopak. Ada yang menyebutnya *kerejep* dan ada juga yang menyebutnya *korejat*. Bunganya yang putih itu, bila airnya diteteskan dapat membeningkan mata, yang buram menjadi cekas kembali. Ada jembatan bambu yang melintasi sungai kecil. Berjalan melintas di pematang sawah, ternyata perlu keseimbangan.

Sudah ada warung sepanjang perjalanan setiap jarak 2 km, bahkan sampai Cicadas. Jadi jangan khawatir kekurangan air minum. Dan, di setiap warung itu, kita dapat memesan teh panas. Tapi, sepanjang jalan itu belum ada warung nasi. Jadi, sangat dianjurkan untuk membawa bekal dari rumah, atau membeli perbekalan untuk makan siang di Cililin, bila kita belum mempunyai hubungan baik dengan warga setempat untuk membuatkan nasi liwet.

Di Cililin banyak dijual cemilan yang manis-manis, seperti *wajit, angleng, jawadah*, *lamaya*, dan lain-lain, disarankan untuk menjadi bekal di perjalanan karena cukup menyegarkan dimakan dengan teh panas.

Membenahi kawasan ini, tidaklah semua bagian seperti tangga menuju lokasi harus dibuat permanen dengan cara dibeton. Di beberapa tujuan wisata, ada yang sangat mempertahankan kekuatan alam, sesedikit mungkin memasukan bahan-bahan bangunan dari luar. Tangga-tangganya dibuat aman bagi pengunjung dengan memasang batang-batang kayu yang dipotong setengah meteran, misalnya, lalu ditahan dengan patok-patok yang aman. Dengan cara ini meminimalkan pengunjung terpeleset.

Memang tidak mudah untuk mencapai Curug Malela.
Foto: T. Bachtiar

Di samping membenahi jalan masuk yang menurun menuju *curug*, penting dipersiapkan kemampuan para tukang *ojeg* sebagai pembawa pesan pariwisata karena merekalah bagian paling depan dalam menerima kunjungan wisatawan. Mereka perlu dibekali wawasan daerah setempat, informasi tempat-tempat yang menarik untuk dikunjungi selain *curug*, informasi penyedia jasa membuat makanan, nasi liwet, misalnya, dan lain-lain, sehingga mereka menjadi ujung tombang pariwisata di Curug Malela, sekaligus menjadi bagian dari pengamanan berbasis masyarakat.

Penting pula memberikan wawasan kepada warga masyarakat yang berminat di Lembur Manglid, misalnya, bagaimana cara menyediakan makanan, seperti nasi *liwet* kepada pemesan, menyediakan saung-saung yang alami dan rapi, tidak kumuh, sehingga menambah daya tarik daerah ini. Bukankah lebih nikmat menyantap *liwet* yang hangat, selain juga memberdayakan masyarakat setempat dalam kegiatan wisata?

"... *Malela!*", ekspresi rasa kagum

Sangat mungkin, pada mulanya berangkat dari rasa kagum akan kekuatan baja, ketika baja baru diperkenalkan kepada masyarakat, yang kesehariannya belum akrab dengan perkakas dari bahan yang sangat kuat itu. Baja, dalam bahasa Kawi disebut *malela*. Tentulah baja sangat kuat bila dibandingkan dengan benda-benda lain yang biasa digunakan, apakah dari bambu, kayu atau batu. Kekuatan *malela* menjadi buah bibir di masyarakat pengguna bahasa Kawi di Tatar Sunda. Segala sesuatu yang lebih dari biasanya, ditambahkanlah kata *malela*, sebagai ekspresi yang menggambarkan kekaguman, kekuatan, atau daya lebih dari benda tersebut.

Misalnya, ketika melihat hamparan *keusik*, pasir hitam yang berkilauan, masyarakat saat itu menambahkan kata *malela* di belakang kata *keusik*, menjadi *keusik malela*. Ketika melihat *jukut*, rumput yang tingginya mencapai hampir 1 m, dengan daunnya yang panjang dan lebar, maka disebutlah *jukut malela*. Untuk tanaman yang daunnya berbulu sangat gatal, di atas rata-rata gatalnya daun *pulus* biasa, maka disebutlah *pulus malela*. Dan bila ada hamparan batu *cadas* yang sangat luas, sangat tebal, *cadas* itu disebut *cadas malela*.

Dan, rasanya tidak kebetulan penamaan *curug, cai urug*, air terjun yang berada di Desa Cicadas itu dinamai Curug Malela. Cicadas, nama desa tempat air terjun itu, berada di kawasan yang oleh masyarakat

Bentangan air terjun yang megah.
Foto: T. Bachtiar

disebut batu cadas. Air terjun ini tidak lajim dari air terjun pada umumnya yang hanya 2 m lebarnya, *curug* ini lebarnya lebih dari 55 m. Jadi pasti akan membuat kagum, sehingga disandingkanlah kata *malela* di belakang kata *curug*, menjadi Curug Malela.

Batuan paling muda yang menutupi kawasan ini terdapat agak ke selatan dari jalan tanah berbatu itu, merupakan hasil endapan lahar dan lava serta bahan vulkanis lainnya yang dihembuskan letusan gunung api maha dahsyat Gunung Kendeng yang terjadi antara 1,8 - 0,7 juta tahun yang lalu. Hembusan gasnya sangat tinggi, sehingga menghamburkan abu gunung api yang sangat luar biasa banyaknya, kemudian berjatuhan, mengendap dan mengalir dalam kawasan yang sangat luas dengan ketebalan ratusan meter. Endapan itu biasa disebut *ignimbrite*, atau masyarakat menyebutnya *cadas*.

Melihat luas dan tebalnya batu cadas itu, pastilah letusan gunungnya telah menguras sebagian besar isi tubuh gunung api tersebut, sehingga langit-langit dapur magmanya tak kuat lagi menahan beban di atasnya. Maka ambruklah badan gunung itu membentuk kaldera dengan diameter 12,5 km. Dari lereng timurlaut kaldera inilah mengalir anak-anak sungai dan menyatu di Ci Dadap, makin ke hilir, aliran sungai diganggu oleh patahan, hingga berjeram-jeram dan membentuk *curug*, sehingga nama sungai berubah menjadi Ci Curug.

Jalan yang dilalui sejak Gununghalu hingga Cicalengka, menerus sampai Lembur Manglid, bebatuannya merupakan bahan gunung api berwarna kelabu kekuningan yang mengandung batuapung, pasir, serta perselingan batulempung, lanau kelabu, batupasir coklat kekuningan, endapan lahar dan breksi, seperti adukan beton yang memadat. Batuan ini umurnya jauh lebih tua lagi, kejadiannya dalam rentang waktu 15-12 juta tahun yang lalu.

Rasa kagum akan luas dan tebalnya batu cadas yang menutupi seluruh kawasan itu, masyarakat tempo dulu menyebutnya *cadas malela*, dan nama tempatnya disebut Cicadas. Di pinggir jalan yang terdapat singkapan batu cadas yang baik, dapat menjadi satu titik pemberhentian bagi wisatawan yang ingin mengetahui abu gunung api yang panas, kemudian berjatuhan menutupi permukaan tanah, lalu mengeras, sehingga dapat membedakan secara nyata, mana yang disebut lahar, dan mana lava, yang sering tertukar atau disamakan. Ada juga batu apung, batu obsidian, dan lapili, magma seukuran kerikil yang terlempar saat letusan.

Air terjun itu berada di kawasan gunung api purba yang meletus jauh sebelum manusia lahir.

Ruth Dresen

Curug Malela, *Top, perfect!*

"Curug Malela? *Perfect*!," kata Uthe, panggilan akrab Ruth Dresen (26), ketika ditanya pendapatnya tentang Curug Malela dan lanskapnya yang sedang dia kunjungi. Sambil tak henti-hentinya mengamati dan memotret lingkungan yang menakjubkan itu. "Warna alamnya sangat bagus. Hijaunya menyala disinari mentari. Ada warna abu-abu dari kabut dan awan. Ada cahaya terang matahari di antara awan. *Super Genial*!"

Jelajah Geotrek? "*Top, perfect!* Ini alam yang saya cari-cari di Bandung, *I have a great time, probably I will come again to Indonesia, for holiday of course.*"

Ruth Dresen, tinggal di Bonn, Jerman, sedang kuliah di *Fachhochschule Köln* (Sekolah Tinggi Köln), Jurusan *Environmental Engineering* dengan spesialisasi di bidang *Stormwasser Management* (Manajeman arus deras). Ia senang jalan-jalan, *tracking*, dan mendaki gunung. Sekarang sedang di Indonesia dalam rangka mengumpulkan bahan untuk tugas akhirnya.

"Peserta *Jelajah Geotrek* yang diselenggarakan Matabumi sangat gembira, energitik, ramah dan siap membantu. Saya mengapresiasi persiapan panitia, seperti menggunakan kendaraan militer di medan yang berbatu. Juga tentang keselamatan saat menyebrangi sungai dan melewati jalan setapak dengan tali-temali, dan memastikan semua peserta hingga peserta terakhir selamat. Itu semua membuat kita dapat merasakan alam sebagaimana adanya, namun tetap aman."

Tentang makan siang? "Sambalnya enak. Saya suka." (T. Bachtiar)■

Menyebrang sungai merupakan keharusan, bila ingin lebih dekat dengan air terjun.
Foto: Dok. T. Bachtiar

Dalam perjalanan ke sana, kita akan disuguhi banyak gejala bumi yang luar biasa kaya dan beragam.

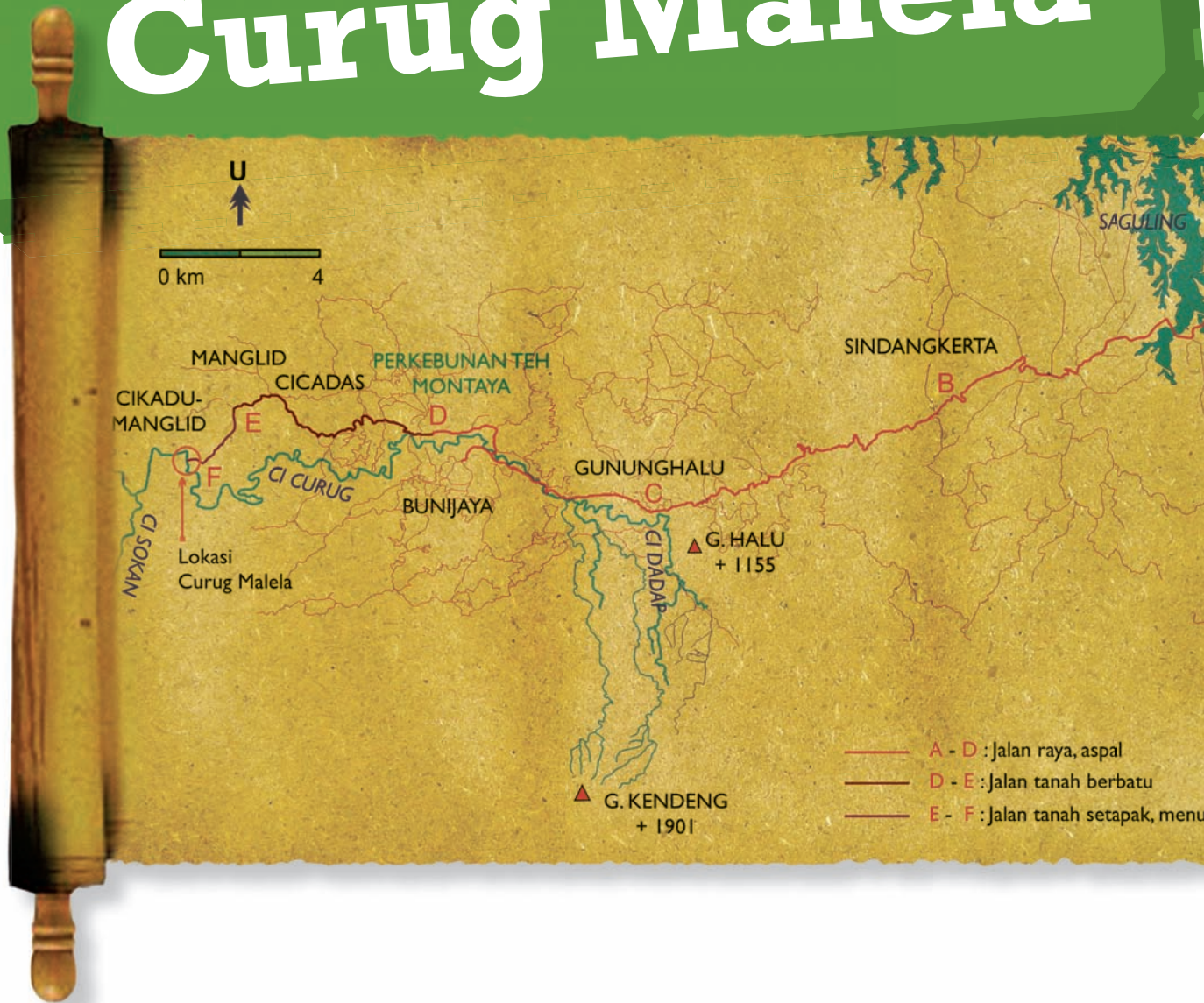
Dalam perjalanan yang menurun menuju *curug*, kita meniti anak tangga di tanah yang licin sepanjang 2 km. Sesungguhnya, kita sedang menuruni batuan yang umurnya 12 - 5 juta tahun, yang terdiri batu lempung, abu gunung api yang memadat dan beton alam dalam ukuran yang sangat besar dan kuat. Beton alam inilah yang menjadi dinding penahan erosi mudik, sehingga dasar sungai tidak dapat menyesuaikan sudut kemiringannya. Inilah yang membuat dalam satu kilometer sungai terdapat tujuh air terjun, yaitu Curug Malela, Curug Katumbiri, Curug Manglid, Curug Ngebul, Curug Sumpel, Curug Palisir dan Curug Pameungpeuk. Ini pula yang membuat aliran Ci Dadap berubah menjadi Ci Curug, yang kemudian bermuara di Ci Skan, Cianjur.

Curug Malela sungguh luar biasa, apalagi pada saat musim penghujan, ketika seluruh lebar sungai terisi air. Air terjun yang lebar itu sangat mengagumkan. Biasanya air terjun ditempat lain itu tunggal, paling hanya 2 m lebarnya. Tapi air terjun di Lembur Manglid, Desa Cicadas, Kecamatan Rongga, Kabupaten Bandung Barat ini lebarnya saat penuh mencapat lebih dari 55 m dengan tinggi mencapai 50 m.

Pastilah yang melihat air terjun di perbatasan Kabupaten Bandung Barat dengan Kabupaten Cianjur itu akan berdecak kagum. Rasa kagum melihat air terjun yang tidak biasanya itu diekspresikan dengan menambahkan kata *malela* di belakang kata curug, menjadi Curug Malela, air terjun yang luar biasa!

Pembangunan fisik kawasan ini jangan melupakan yang menjadi daya tarik kawasan ini, apakah itu bebatuannya serta unsur hidup lainnya, yaitu pohon. Curug Malela berada di Lembur Manglid. Pastilah dulu, di kawasan ini banyak pohon manglid, sehingga menjadi ciri, menjadi *landmark* kawasan, maka disebutlah Lembur Manglid.

Untuk mengenang dan memperkenalkan kembali pohon ini, bila sepanjang jalan menuju air terjun, di lereng dan di lahan kritis lainnya ditanami pohon

Peta Jalan ke Curug Malela

manglid (*Manglietia glauca*), akan ada keteduhan yang kontekstual dengan asal-usul nama geografinya. Kekuatan kayunya setara jati, tumbuh tegak hingga 30 m. Sebelum kemerdekaan, kayu Manglid digemari masyarakat untuk bahan bangunan, untuk jembatan dan mebel.

Bila di kawasan ini benar-benar sudah tidak memiliki benihnya karena hutan alamnya hingga lereng yang curam sudah berganti menjadi hutan pinus dan sereh wangi, dapat mencari benihnya di hutan-hutan alami yang tersisa, seperti di sekitar lereng atas Gunung Mandalawangi. ■

Penulis adalah anggota Masyarakat Geografi Indonesia dan Kelompok Riset Cekungan Bandung.

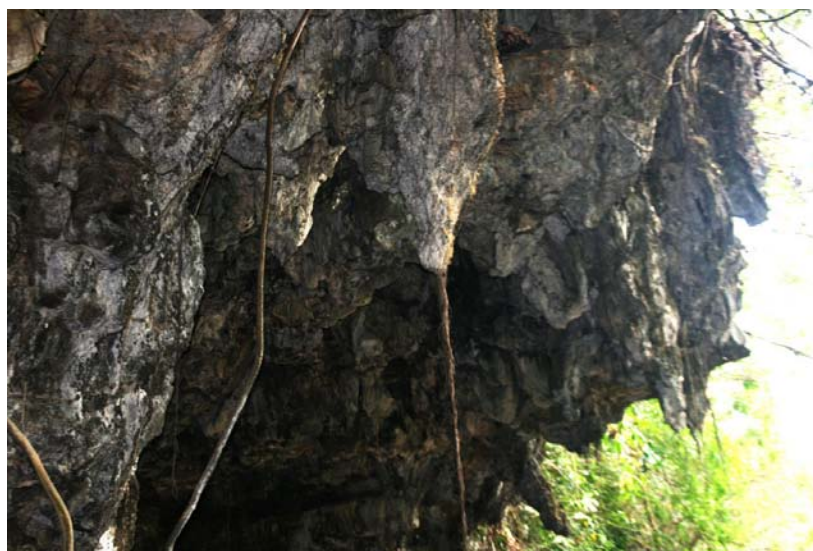
Esei Foto

Antara Maros dan Soppeng, Fenomena Fosil Gajah Sulawesi

Foto dan Teks: SR. Wittiri

Taman Nasional Bantimurung - Bulusaraung
Pegunungan gamping Formasi Tonasa dimulai dari sini.

Apakah gajah, binatang super besar itu dapat berenang? Tentu bisa, karena gajah memiliki alat pernapasan yang luar biasa, yaitu belalai. Sesungguhnya gajah adalah binatang yang lumrah keberadaannya di sebuah pulau, bahkan gajah sering ditemukan berenang menyeberangi selat dengan menggunakan belalainya sebagai alat bernapas (Sondaar, P.Y.,1999).

Kali ini Geomagz memburu gajah yang hidup satu juta tahun yang lalu di Kabupaten Soppeng, salah satu daerah yang subur di Provinsi Sulawesi Selatan.

Stalaktit di tepi jalan Jalur Camba, poros Maros - Soppeng

Kars Tipe Menara sebagian berupa bukit terjal dan sebagian lainnya soliter menjulang tinggi dengan latar depan rumah panggung khas daerah Bugis.

Watansoppeng, ibukota Kabupaten Soppeng berjarak 170 km ke arah utara dari Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan. Ada tiga jalur yang dapat dilalui untuk mencapainya, salah satunya melewati pegunungan gamping dari Formasi Tonasa di Kabupaten Maros dan Formasi Camba berisi batuan gunung api dan sebagian gamping, yang kebetulan dikenal dengan Jalur Camba.

Formasi Tonasa dikenal memiliki kawasan kars yang sangat menarik. Yang menjadi ciri khas kars di kawasan ini adalah Kars Tipe Menara *(Tower Type Karst)* dan satu-satunya di Indonesia. Tipe ini berdiri menjulang tinggi bagaikan menara.

Formasi ini berumur Eosen Akhir hingga Miosen Tengah. Batu gamping tersebut tumbuh di atas sedimen klastik yang mengandung sisipan batu bara dalam Formasi Malawa berumur Neogen dan ditindih oleh batuan vulkanik dalam Formasi Camba.

Setelah batu gamping terangkat ke permukaan laut terjadi proses karstifikasi membentuk morfologi kars. Pengaruh struktur geologi membentuk bentang alam bukit-bukit berlereng terjal, sebagian saling terpisah dan diselangi oleh dataran rendah. Kenampakan seperti itu dikenal dengan sebutan “kars tipe menara”.

Selamat datang di Watan Soppeng

Ada dua pendapat tentang asal mula nama "Soppeng", Pendapat yang pertama berasal dari penggabungan kata soso yang berarti turun dan lappeng yang artinya tanah lapang. Ketika itu ada serombongan orang dari pegunungan Sewo turun ke suatu daerah rendah di dekat istana kerajaan. Kedua kata ini disederhanakan menjadi Soppeng.

Pendapat kedua berasal dari nama sebuah pohon yang banyak tumbuh baik di dataran rendah maupun di pegunungan bernama "caloppeng atau coppeng". Tumbuhan ini berbatang keras, buahnya kecil berwarna ungu kehitaman mirip dengan buah anggur, rasanya asam agak manis, itulah sebabnya sering disebut 'anggur bugis". Perubahan kata coppeng menjadi soppeng karena pengaruh dialek Bugis di wilayah ini yang sering mengganti kata yang berawal huruf C dengan huruf S atau sebaliknya. Kata lain misalnya, salo (sungai) berubah menjadi calo-calo (sungai kecil), sappo (saudara sepupu) dilafaskan menjadi cappo (A. Wanua Tangke & Anwar Nasyaruddin, 2007).

Di dalam masyarakat, pendapat yang kedua lebih dikenal dan diterima.

Watansoppeng di lingkung gunung

Kabupaten Soppeng memiliki morfologi yang sangat variatif mulai dari dataran rendah hingga pegunungan dengan ketinggian antara 12 m hingga 1485 m dpl. Kondisi ini mempengaruhi iklim pada umumnya dengan suhu udara antara 22^{o} - 30^{o}C.

Di sisi barat memanjang dari utara ke selatan sepanjang lebih dari 30 km terdiri dari batuan gunung api dari Formasi Camba yang berumur Miosen Tengah dan menindih selaras Batuan Gunung Api Soppeng yang berumur Miosen Bawah (R. Sukamto, 1982). Endapan gunung api mengandung berbagai unsur yang dapat menyuburkan tanah. Soppeng sebagai salah satu sentra padi di Sulawesi Selatan yang dikenal dengan “beras Soppeng” yang pulen dan enak, mirip dengan beras Cianjur di Jawa Barat.

Ada yang unik di Watansoppeng. Sejak dahulu kala hidup koloni kelelawar, setempat dikenal dengan nama *panning,* bergelantungan di pohon yang tumbuh di tengah kota. Bila senja menjelang koloni *panning* terbang ke pegunungan untuk mencari makan dan dini hari mereka kembali menjadi penghuni kota. Keberadaan koloni ini memberikan warna tersendiri bagi kehidupan kota Watansoppeng. Dengan suara riuh-rendah dan aroma kelelawar merupakan kenangan tersendiri, khususnya bagi pendatang.

Alkisah, apabila koloni *panning* tidak kembali ke kota dalam beberapa hari, pertanda akan terjadi marabahaya yang akan menimpa penghuni kota, itulah sebabnya keberadaan kelelawar dijaga oleh warga, bahkan sudah diterbitkan dalam suatu Surat Keputusan Bupati untuk menjaga kelestariannya (informasi lisan dengan seorang pegawai kantor bupati).

Apapun adanya, koloni kelelawar ini mempunyai hak hidup yang tidak perlu diganggu karena mereka tidak mengganggu.

Wisma Juliana masih terawat dengan baik

Wisma Juliana tampak dari kejauhan

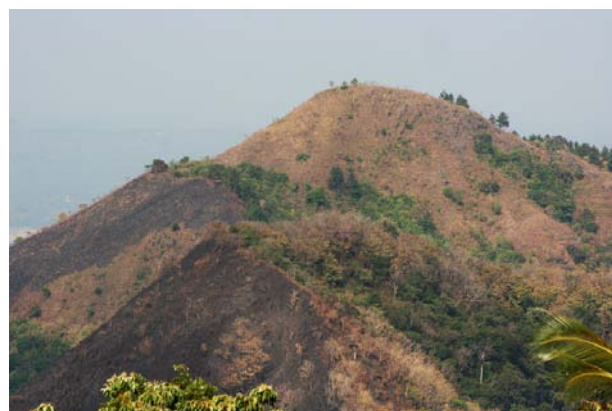
Pada tahun 1904 terbetik khabar bahwa Ratu Juliana dari Negeri Belanda akan berkunjung ke Sulawesi Selatan. Salah satu daerah yang dipersiapkan untuk dikunjunginya adalah Watansoppeng. Untuk itu dibangunlah sebuah tempat perisitirahatan di sebuah bukit di sisi utara kota. Bangunan yang bergaya India campur Bugis tersebut selesai pada 1905. Kini rumah peristirahatan tersebut dikenal dengan Wisma Juliana dan difungsikan sebagai museum daerah.

Ketika kami berkunjung ke tempat tersebut dan menanyakan "apa alasannya sehingga Soppeng dipilih sebagai salah satu lokasi kunjungan Ratu Juliana?" Tidak seorangpun yang dapat memberikan jawaban. Menurut hemat penulis, ada dua alasan yang rasional mengapa Soppeng dipilih. Yang pertama karena Soppeng adalah daerah yang berhawa sejuk dengan panorama yang elok. Dahulu kala Soppeng dikenal sebagai Bandung-nya Sulawesi, bahkan ada yang menyebutkan sebagai Parijs van Bugis.

Alasan yang kedua karena Soppeng merupakan salah satu kerajaan terbesar di Sulawesi Selatan saat itu. Apalagi pada masa itu raja Soppeng dipimpin oleh seorang wanita yang bernama Sitti Zaenab yang memerintah dalam rentang waktu antara 1895 hingga 1940. Raja ini adalah keturunan langsung dari Tomanurung Eri Salassana dari leluhur La Temmamala (A. Wanua Tangke & Anwar Nasyaruddin, 2007). Kejayaan kerajaan itu masih dapat ditelusuri jejaknya hingga saat ini.

Pada kenyataannya Ratu Juliana tidak pernah menginjakkan kaki di Soppeng tanpa sebab yang jelas.

Istana Raja Soppeng dibangun oleh raja pertama La Temmamala. Meskipun sudah beberapa kali mengalami renovasi, tetapi bentuk awal tetap dipertahankan.

Jera Lompoe
Makam raja-raja Bugis Soppeng, Luwu, dan Sidenreng dari abad XVII.

Bukit Batuan Beku
Salah satu bukit di sisi barat Watansoppeng berupa intrusi *trachit* (Rab Sukamto, 1982)

Menurut hikayat, batu-batu nisan yang dipergunakan di makam ini berasal dari Luwu (Palopo sekarang) yang jaraknya ratusan kilometer dari Soppeng. Batuan tersebut dikirim dengan cara siponcing jari (saling mengulurkan tangan). Sebagian orang berpendapat siponcing jari dengan cara estafet, artinya banyak orang yang terlibat, sedangkan sebagian lainnya berpendapat dengan cara dua orang sakti di Luwu dan di Soppeng saling mengulurkan tangan menyerahkan batu dan menerima batu (komunikasi lisan dengan Aride, penjaga Situs Bulu Matanre).

Pada kenyataannya, Soppeng dilingkupi pegunungan batuan beku (batuan gunung api) dan batu nisan ini terbuat dari batuan beku. Tetapi itulah sebuah hikayat berisi kebanggaan akan leluhur.

Rumah adat orang Bugis berupa rumah panggung, pada umumnya beratap seng. Sebagian orang beranggapan kalau mempergunakan genteng yang terbuat dari tanah, seolah-olah mereka berada di bawah tanah atau ditutupi tanah. Padahal seng (zeng, Zn) adalah semacam mineral yang asalnya dari tanah juga.

Pakaian adat pengantin Bugis. Dahulu kala pakaian jenis ini hanya dipergunakan oleh para keturunan raja atau bangsawan. Saat ini sudah dipergunakan oleh siapa saja dalam setiap perhelatan pernikahan.

Sokko (ketan) berwarna
Bolong (hitam) adalah tanah
Ridi (kuning) adalah angin
Cella (merah) adalah api, dan
Puteh (putih) adalah air.

Empat komponen yang mengatur kehidupan. Sebagian masyarakat di Soppeng menyediakan penganan ini dalam acara ritual *massiara* (berkunjung untuk berdoa) di makam tua yang ada di Soppeng.

Pada 1947 seorang peneliti berkebangsaan Belanda menemukan peninggalan dari masa pra sejarah berupa sejumlah peralatan yang terbuat dari batu *(flake)* dan fosil vertebrata. Lokasi penemuan tersebut di Cabenge, ibukota Kecamatan Lilirilau, tepatnya di Calio, ujung Kampung Berru di sebelah timur Sungai Walanae, 15 km sebelah timur dari Watansoppeng.

Hasil yang sangat mengesankan dari penelitian itu adalah ditemukannya fosil *Stegodom sompeensis* (gajah kerdil) berumur 1,2 juta tahun (F. Azis dan E. Edisusanto, 1987) dan beberapa peralatan zaman batu berupa kapak, serpih dan sebagainya, bercorak Pacitanian berumur 50.000 tahun (Soejono, 1970 dan G.J. Bartstra, 1991).

Atas penemuan tersebut, lokasi itu dikenal dengan *Cabenge Culture.*

Sungai Walanae di Cabenge
Sungai Walanae, dikenal juga dengan Depresi Walanae, merupakan salah satu sungai terpanjang di Sulawesi Selatan mengalir dari wilayah Kabupaten Bone melintasi Kabupaten Soppeng dan berhulu di Danau Tempe di Kabupaten Wajo.

Bagaimana mungkin gajah dapat mencapai Pulau Sulawesi yang saat ini dikenal tidak seekorpun gajah ada di sana, kecuali di Kebun Binatang, itupun diangkut dengan alat transportasi. Ada satu hal yang diyakini oleh para ilmuwan bahwa gajah, juga satwa-satwa lainnya yang fosilnya ditemukan diberbagai tempat di Indonesia adalah pendatang dari daratan Asia.

Peristiwa geologi di Pulau Sulawesi bermula ketika pulau ini masih bersatu dengan Kalimantan. Sekitar 40 juta tahun yang lalu mulai terbentuk selat nan dalam, Selat Makassar. Meskipun selat merupakan salah satu penghalang bagi fauna untuk bermigrasi, tetapi beberapa jenis fauna berhasil menyeberangi selat dalam itu.

Berbagai fosil fauna di Lembah Walanae adalah *Celebocherus heekereni,* sejenis babi endemik, *Archidiskodon celebensis, Stegodon celebensis,* dan *stegodon pigmi Stegodon sompoensis,* sejenis gajah purba serta fauna air yang diwakili oleh kura-kura raksasa, *Megalochelys sp.* Para ahli mengatakan bahwa jawaban yang rasional mengenai fosil gajah di Sulawesi adalah karena satwa itu berenang.

Stegodon diduga berenang menyeberangi bagian sempit Selat Makassar dari Kalimantan bagian tenggara ke Sulawesi bagian barat daya.

Dalam kondisi tertekan, gajah mampu berenang sejauh 48 km. Kemampuan itu karena adanya belalai sebagai alat pernapasan dan badannya yang besar juga memungkinkan dapat mengapung (Gert van den Bergh).

Kini di lokasi penemuan pertama fosil gajah purba berdiri sebuah Museum Prasejarah Calio yang menyimpan beberapa fosil gajah berupa rahang, tungkai. Selain itu tersimpan juga fosil kerang dan peralatan batu. Sangat disayangkan, belalai gajah disimpan di tempat terpisah. Belalai disimpan di Museum Daerah di Wisma Juliana, Watansoppeng, sehingga pengunjung tidak memperoleh informasi yang tuntas di satu tempat.

Beberapa hasil penemuan para ahli geologi dan arkeologi berupa tengkorak gajah purba *(stegodon)* dan peralatan batu.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Saudara Taswin yang telah mengantar penulis mengunjungi berbagai lokasi di Soppeng dan Saudara Aride, penjaga Situs Bulu Matanre, Soppeng yang telah memberikan banyak informasi mengenai berbagai hikayat yang berkembang di kalangan masyarakat Soppeng dan sekitarnya.

Fosil *Hexaprotodon sivalensis,* koleksi Museum Geologi, Bandung.
Foto dan teks: T. Bachtiar

KUDA NIL

Ketika di kawasan lintang tinggi semua air membeku, siklus air menjadi terputus, di Nusantara terjadi susut laut, sehingga Paparan Sunda menjadi kawasan yang dapat dijelajahi. Secara naluriah, untuk mempertahankan hidupnya, binatang-binatang yang berada di kawasan lintang tinggi itu akan berjalan dan berenang untuk mencari lingkungan baru yang lebih hangat. *Hexaprotodon sivalensis* menjelajahi Paparan Sunda antara 1,2-1 juta tahun yang lalu, termasuk di dalamnya menjelajahi kawasan yang kini dinamai Pulau Jawa. Kuda nil purba ini tingginya sekitar 1,5 m, hidup di lingkungan berawa, di kubangan-kubangan padang rumput, dan di sungai.

"Gunung api menjulang tegar perkasa, damai melindungi dan memberkahi segenap yang ada di pelukannya hingga jauh di hilirnya. Ketika giat membangun dirinya, gunung api mengguncang dan meluluhlantakkan semua yang ada di hadapannya. Namun itu hanya sesaat, kemudian kembali memupuk kesuburan dan keindahan bumi."

(Oman Abdurahman)

Sketsa Krakatau pasca letusan 1883 (Sumber: Verbeek, 1886)

ISSN 2088-7906

9 772088 790005